Het schrijven van een nieuw werkboek

Hoofdstuk elektriciteit

2e klas Havo / VWO

School: Het Baarnsch Lyceum, Baarn
Auteur: Gijs Hagen

26-08-2009

Begeleider: Jan van der Veen
ELAN
Universiteit Twente

Samenvatting

Op het Baarnsch lyceum beginnen we komend jaar met de invoering van een nieuw werkboek voor de onderbouw (klas 1 tm 3). Het oude werkboek vind de sectie natuur-scheikunde te duur, en een zelfgeschreven werkboek legt de nadruk waar jij hem als docent wilt hebben. We zijn met alle docenten aan het schrijven geslagen, en hier is het resultaat van het hoofdstuk elektriciteit. Oorspronkelijk werd dit verdeeld over klas 2 en klas 3, momenteel is dat gewijzigd naar klas 1 en 2. Dit riep natuurlijk de vraag op of de tweede klas leerlingen het niveau van de derde klasstof wel aan kunnen. Om het nieuwe werkboek te kunnen testen is dit onderzoek uitgevoerd. Het onderzoek is uitgevoerd in periode 4 van het schooljaar 2008 – 2009, een periode van 7 weken en een toetsweek van week 9 t/m week 17. Voor het onderzoek is het werkboek uitgetest in twee klassen, b2e en g3a. Verder zijn de resultaten van 4 controleklassen, b2c, g2a, v3c en v3e, gebruikt die volgens het oude programma les hebben gehad. In totaal zijn de resultaten van 135 leeerlingen gebruikt voor dit onderzoek, verdeeld over deze 6 klassen.

Het onderzoek is volledig gebaseerd op de resultaten die de leerlingen tijdens twee toetsen hebben behaald, een tussentoets en een eindtoets. Voor de toetsen zijn zoveel mogelijk dezelfde vragen gebruikt. Deze vragen zijn verdeeld over de volgende 4 niveaus: novice – eenvoudig, novice - moeilijk, expert – eenvoudig en expert – moeilijk. Het doel is om de leerlingen over de eerste 3 niveaus voldoende te laten scoren. Om te kunnen vergelijken zijn de toetsvragen per leerling in sets per niveau gegroepeerd. Door de totaalscores per leerling per set te vergelijken is gekeken of het doel bereikt is.

Op de eerste 2 novice-niveaus scoren de leerlingen gemiddeld voldoende. De tweede klas doet het iets minder goed als de derde klassen, maar nog steeds voldoende, en testklas b2e scoort statistisch gezien vergelijkbaar met controleklas b2c. Het werkboek krijgt in die zin een voldoende.

Op de beide expert-niveaus scoren alle leerlingen gemiddeld onvoldoende. Dit geldt zowel voor de testklassen als de controleklassen. Om hier verder onderzoek naar te doen is er tevens gekeken naar een aantal specifieke misconcepties van leerlingen bij het onderwerp elektriciteit. Dit specifieke onderzoek is gebaseerd op enkele opgaven uit de expert – niveaus, en geeft duidelijk aan waar ons elektriciteitsonderwijs in de onderbouw tekort schiet.

Om dit gebrek aan begrip bij de leerlingen op te lossen wordt aanbevolen om, naast het werkboek, komend jaar gebruik te gaan maken van een digitale praktikumomgeving voor dit onderwerp, zoals bijvoorbeeld ElektriX van de UvA. De bedoeling is dan om leerlingen thuis opgaven hiermee te laten maken, eventueel gebaseerd op die in het werkboek, en deze voor een cijfer te laten inleveren. Op deze manier kost het niet veel extra lestijd, en kunnen de leerlingen op hun eigen tempo begrip opdoen. Het verdient aanbeveling om komend jaar de resultaten op een vergelijkbare manier te evalueren om te zien of het begripsniveau van de leerlingen verbeterd is.

Inleiding

Dit onderzoek is gedaan in het kader van Onderzoek van Onderwijs, als afsluiting van de 1e graads lerarenopleiding natuurkunde van het instituut ELAN aan de Universiteit Twente. Het onderzoek kwam tegelijk met de periode dat we op Het Baarnsch Lyceum bezig waren met het schrijven van een compleet nieuw werkboek, vandaar dat de keuze voor dit onderwerp voor de hand lag. Het praktische uitvoeren van het onderzoek is al een paar maanden geleden. Echter, doordat ik ging trouwen een maand na het onderzoek is de verwerking van de resultaten iets uitgesteld. Als docent heb je 7 weken zomervakantie. Deze zijn dan ook goed benut voor het schrijven van dit onderzoeksverslag. Ik wil graag de volgende collega's van Het Baarnsch Lyceum bedanken voor hun medewerking: Wim Theulings voor tips over het schrijven van een werkboek, Dominique Meeuwissen voor haar aanvullende theorievragen voor bij het werkboek en voor haar medewerking aan het onderzoek als docent van b2c en g2a, en tot slot Remie Woudt voor zijn medewerking als docent van v3c en v3e.
Verder wil ik mijn begeleider Jan van der Veen bedanken, voor zijn goede tips aangaande het onderwerp, en het vertrouwen dat hij toch nog altijd in mij heeft gehouden, ondanks dat het eindresultaat nog even op zich heeft laten wachten.

Inhoudsopgave

Samenvatting 2
Inleiding 3
1. Opzet onderzoek 5
1.1 Aanleiding 5
1.2 De opdracht 5
1.3 Ontwerp-eisen 5
1.4 Ontwerp testen 6
1.5 Leerdoelen 7
2. Literatuuronderzoek 10
3. Het onderzoek 14
3.1 Statistische toets 14
4. Resultaten 16
4.1 Resultaten evaluatie collega's 16
4.2 Resultaten onderzoek naar niveau 16
4.3 Resultaten onderzoek misconcepties. 19
5. Conclusies 22
6. Discussie 23
7. Aanbevelingen 24
8. Bronnen 25
Bijlage 1 Het nieuwe werkboek. 26
Het werkboek 26
Practicum 39
Theorievragen 43
Uitwerkingen opgaven elektriciteit 46
bijlage 2 lessentabellen 56
bijlage 3 toetsopgaven 58
bijlage 4 scores per niveau 63
1. novice eenvoudig 63
2. novice moeilijk 69
3. expert eenvoudig 74
4. expert moeilijk 80
bijlage 5 scores per leerling per niveau 83
1. novice eenvoudig 83
2. novice moeilijk 85
3. expert eenvoudig 87
4.expert - moeilijk 89

1. Opzet onderzoek

1.1 Aanleiding

Vanaf het schooljaar 2008-2009 hoeven ouders niet meer zelf te betalen voor de schoolboeken van hun kinderen. De overheid stelt hiervoor nu een budget per leerling ter beschikking. Op het Baarnsch Lyceum is een inventarisatie gehouden wat de kosten zijn met de huidige methoden, en het blijkt dat wij in de onderbouw over het budget per leerling heen zitten. Bij de sectie Natuur-scheikunde zijn we naar een oplossing gaan zoeken, welke inhoudt dat we vanaf volgend jaar wel met de methode natuur- en scheikunde actief doorgaan, maar het losse werkboek niet meer gaan gebruiken. In plaats daarvan gaan wij als docenten zelf een werkboek samenstellen. We hebben de verschillende onderwerpen verdeeld over de verschillende docenten, die zo elk een deel van het nieuwe werkboek gaan schrijven. Wat wij erg belangrijk vonden is dat we volgend jaar bij de invoering niet overal fouten tegen gaan komen. Vandaar dat we dit jaar al in enkele klassen het materiaal aan het uittesten zijn. Dit ten eerste om te zien of de leerlingen uiteindelijk wel hetzelfde niveau halen en ten tweede om een heleboel fouten eruit te kunnen halen en wijzigingen alvast voor de uiteindelijke invoering door te kunnen voeren.

1.2 De opdracht

Het onderdeel van het werkboek dat ik ga schrijven gaat over elektriciteit. Dit onderwerp wordt momenteel in de 2^{e} en in de 3^{e} klas gegeven. Een extra bijkomstigheid is dat vanaf het huidige schooljaar 2008-2009 ook in de 1^{e} klas Natuur-scheikunde wordt gegeven. Een van de onderwerpen is daarbij ook elektriciteit. Hier moet het nieuwe materiaal bij aansluiten. Verder willen we ruimte maken in het curriculum aan het einde van het 3^{e} jaar. Vandaar dat we het onderwerp als geheel in de 2^{e} klas willen behandelen. Het materiaal zal daarom in de tweede klas en in de derde klas worden uitgetest, om te kijken of ons plan ook haalbaar is. De opdracht bestaat dus uit de volgende onderdelen:

- het schrijven van een hoofdstuk elektriciteit voor het werkboek
- het schrijven en testen van bijbehorende practica
- het testen in de tweede en derde klas
- evaluatie met de klassen en met collega's
- herontwerpen / verbeteren van het materiaal

1.3 Ontwerp-eisen

Als je begint met het schrijven van een hoofdstuk is het handig om eerst eens op te sommen waar het allemaal aan moet voldoen.

- het moet de huidige stof van de onderbouw natuur-scheikunde bevatten
- het moet aansluiten bij de huidige stof uit de eerste klas
- het moet ook gebruikt kunnen worden zonder voorkennis (huidige klas 2)
- het niveau moet zijn voor gebruik aan het einde van de 2^{e} klas
- Het moet onafhankelijk bruikbaar zijn van het huidige informatieboek
- Het moet geschikt zijn voor zowel Havo als VWO
- Het moet passen in 7 lesweken van 3 uur per week (21 lessen)

1.4 Ontwerp testen

Huidige ervaringen

We zijn in het huidige schooljaar al bezig geweest met het schrijven en testen van enkele hoofdstukken voor het nieuwe werkboek. Tot nog toe is het materiaal geschreven door mijn collega dhr W. Theulings. Ik heb in 2 klassen al materiaal uitgetest en daar enige ervaringen opgedaan. Ik hoop hier goed gebruik van te kunnen maken in het ontwerpproces van mijn eigen module.

Enige ervaringen tot nog toe:

- de huidige leerlingen kennen het huidige werkboek en gaan erg vergelijken. Uit commentaar van leerlingen moet daarom gefilterd worden tussen wat inhoudelijk is en wat functioneel is. Enige voorbeelden zijn:

  - een leerling zegt "ik vind het oude werkboek veel fijner werken". Als je dan doorvraagt blijkt het te zijn dat hij nu een schrift nodig heeft en in het werkboek alles ingevuld kan worden.
  - Leerlingen vonden de nieuwe vragen 'moeilijker als in het oude werkboek'. Dat bleek te zitten de opbouw van de vragen. In het huidige werkboek zijn de eerste vragen altijd van het niveau "lees de tekst en vul in". Mijn collega begint ook wel met algemenere vragen, maar de duidelijke connectie met de tekst zoals ze die gewend waren is er minder. De vraag is dan natuurlijk in hoeverre dit echt een probleem is en wat daaraan te doen

- In een eigen werkboek kun je als docent veel meer jouw gevoel kwijt. "wat wil *ik* die kinderen nu leren" ipv "wat is dat nu voor een rare vraag" of "waarom besteden ze *daar* nou zoveel aandacht aan"

- Als je een nieuw werkboek maakt moet je ook nieuwe antwoordenboekjes maken. Saillant detail: daar gaat nog best aardig wat tijd in zitten wil je dat goed doen!

- Let erop in wat voor klas je het test. Ik heb een gymnasium-3 klas, en als *die* al zeggen dat het materiaal moeilijk is, hoe gaat dat dan in 3 havo volgend jaar?

- Hoe vergelijk je nu of je klas hetzelfde heeft geleerd als de rest? Tot nog toe hebben we als enige indicatie de toets-cijfers gebruikt. Wel natuurlijk dat alle leerlingen dezelfde toets kregen. Maar is dat voldoende?

Aanpak nieuwe module

Ik heb op de volgende manier getest of het materiaal voldoet en hoe het evt. moet worden verbeterd.

- vooraf: schriftelijk/mondeling commentaar van collega's verwerken
- uittesten in b2e in de 4^{e} periode
- uittesten in g3ab in de 4^{e} periode
- maken tussentoetsen en eindtoetsen voor testklassen en controleklasssen
- evalueren resultaten tussen en eindtoetsen

1.5 Leerdoelen

1e klas

Begrippen: elektriciteit, stroom, elektrisch, elektronisch, energie, signalen, elektronen, geleiders, isolatoren, weerstand, spanningsbron, stroomkring, spanning, Volt, stroomsterkte, Ampère, schema, symbool, serieschakeling, parallelschakeling, stopcontact, meterkast, groepen, zekering, automatische zekering, energiemeter,aardlekschakelaar, aardleiding, randaarde, kortsluiting, overbelasting.

Theoretische Vaardigheden:

- een aantal elektrische en elektronische apparaten noemen en het verschil
- een aantal geleiders en isolatoren noemen en het verschil
- een duidelijke uitleg van het begrip weerstand geven
- een aantal spanningsbronnen noemen
- waarvoor spanning dient omschrijven (niet wat het is)
- de eenvoudige symbolen van een schakelschema kennen
- een eenvoudig schakelschema nalopen op de werking
- zelf een eenvoudig schakelschema tekenen ahv een beschrijving in woorden
- de eigenschappen van serie-en parallelschakeling uitleggen, voorbeelden noemen
- het begrip stroomsterkte uitleggen, en wat 1 Ampère is.
- De onderdelen in de huisinstallatie benoemen en hun doel / werking uitleggen
- Het verschil tussen overbelasting en kortsluiting uitleggen
- Uitleggen wanneer stroom gevaarlijk is

Praktische vaardigheden

- Het maken van een eenvoudige schakeling ahv een schema
- Het maken van een eenvoudige schakeling ahv een beschrijving in woorden
- aflezen analoge Ampèremeter
- leren een conclusie te trekken uit een aantal metingen van de stroomsterkte en die te koppelen aan de theorie over stroomsterkte
- het bouwen van een ingewikkelde schakeling op een experimenteerbordje ahv een schema op een plattegrond van het bordje
- het leren ontdekken wat onderdelen in een ingewikkelde schakeling doen ahv specifieke opdrachten met de gebouwde schakeling

Nieuwe module klas 2

Aansluiting:

De module moet aansluiten op de eerste klas stof. Daarbij mag best enige overlap zijn, maar dan ‘in herhaalmodus’. Voor de huidige 3e klas maakt dat niet uit, alleen de huidige 2e klas zou daar evt. hinder van kunnen ondervinden. Gelukkig krijgen zij de stof volgend jaar nogmaals (als laatste groep van het ‘’oude systeem’’).

Hier zijn de nieuwe leerdoelen van de *huidige* 2e en 3e klas. Volgend jaar worden dit samen de leerdoelen van de 2e klas.

Begrippen 2e klas:

Elektrische lading, positieve en negatieve lading, elektrisch neutraal, ongeladen, coulomb, gelikspanning, wisselspanning, frequentie, Hertz, spanningsmeter, stroommeter, bereik, elektrische energie, vermogen, Joule, Watt, kilowattuur, fasedraad, nulleiding, schakeldraad

Theoretische Vaardigheden:

- welke ladingen stoten elkaar af en trekken elkaar aan
- negatieve lading komt door een overschot aan elektronen en vice versa
- 1 coulomb = 6 met 18 nullen (of 625 met 16 nullen) elektronen.
- Verschil tussen wisselspanning en gelijkspanning
- Wat betekend 50 hertz?
- 1 ampere betekent 1 coulomb per seconde dus '6 met 18 nullen' elektronen per seconde
- 1 joule = 1 wattseconde
- 1 kWh = 3,6 miljoen joule
- De draadkleuren in de huisinstallatie

Begrippen 3e klas:

Meterkast,transformatorhuisjes, barnsteen, moleculen,atomen, kern, protonen, neutronen, elektronen, vrije elektronen, influentie, elektroscoop, Ohm, constantaandraad, recht evenredig verband, soortelijke weerstand, doorsnede, PTC, NTC, LDR, schuifweerstand, vervangingsweerstand, combinatieschakeling

Theoretische Vaardigheden:

- Hoe ontstaan elektrische ladingsverschillen
- Ladingsverdeling in een isolator en een geleider (influentie)
- Hoe werkt een elektroscoop
- Verschillende ladingssituaties herkennen en beschrijven wat er gebeurt
- Elektronen gaan van - naar +, maar de stroomrichting is van + naar –
- $P = U \cdot I$ en $E = P \cdot t$
- $U = I \cdot R$
- Als R = constant dan geldt de wet van Ohm.
- Als de temperatuur hoger wordt wordt de weerstand meestal ook hoger (PTC)
- Draad 2x zo lang, R 2x zo groot
- Draad 2x zo dik, R 2x zo klein
- $R = \rho \cdot \frac{l}{A}$
- NTC: T hoger ->R kleiner
- LDR : meer licht -> R kleiner
- Hoe werkt een schuifweerstand
- Serieschakeling: $R_v = R_1 + R_2 + ...$, I overal gelijk, U's optellen
- Parallelschakeling: $\frac{1}{R_v} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + ...$, U overal gelijk, I's optellen
- Rekenen aan een combinatieschakeling

Het 3^{e} klas gedeelte staat gepland voor 1 periode van 7 weken, 4 uur per week (28 lessen).
Het 2^{e} klas gedeelte staat gepland voor een halve periode (3 weken) van 3 uur per week (10 a 11 lessen).

Duidelijk is dat de 2^{e} klas het nieuwe materiaal niet volledig zal kunnen afronden. Dat hoeft ook niet, zolang de basis maar aan de orde komt die ze voor de 3^{e} klas nodig hebben. We zullen zien wat er van terecht komt.

2. Literatuuronderzoek

Momenteel is er een grote verandering aan het optreden in het middelbaar onderwijs. Met de invoering van de vernieuwde tweede fase is eigenlijk het begin gemaakt met wat ook wel 'het nieuwe leren' wordt genoemd. Maar wat is dan dat 'nieuwe leren?'
Het woord 'nieuw' impliceert dat er ook zo iets is als 'het oude leren'. Hiermee wordt gedoeld op de methode die tot voor kort het meest gehanteerd werd: het klassikale lesgeven. Hierbij wordt gedoeld op een docent die vertelt, en leerlingen die luisteren. In extreme vorm valt dit te vergelijken met een hoorcollege op de universiteit. Die zijn tegenwoordig ook vaak als filmpje thuis te downloaden, dat geeft denk ik goed aan hoe de kennisoverdracht verloopt.

Bij het nieuwe leren is het belangrijkste uitgangspunt dat de leerlingen zelf hun kennis construeren. Dit kan door te werken aan een overkoepelende opdracht, waarbij leerlingen zelf ontdekken welke kennis en vaardigheden zij nodig hebben om de opdracht af te ronden. Een docent heeft daabij meer een rol als coach. Zijn rol is dan tweeledig: enerzijds is hij de belangrijkste bron van informatie, en anderzijds heeft hij een sturende rol om het leerproces in goede banen te leiden. De vaardigheden die leerlingen dienen te verwerven worden bij het nieuwe leren ook wel competenties genoemd, en in het vervolgonderwijs wordt deze vorm van leren ook wel competentiegericht onderwijs genoemd. In extreme vorm is dit ook al in het nieuws geweest, dat op ROC's leerlingen slechts 8 uur per week op school hoeven te zijn en het gevoel hebben 'dat ze het zelf maar een beetje moeten uitzoeken.'

In de natuurkunde voor de middelbare school wordt door de comissie nieuwe natuurkunde ook een vernieuwd lesprogramma voor de bovenbouw in elkaar gezet. Hun visie is als volgt:

"Leerlingen leren natuurkunde in contexten van hedendaagse natuur- en sterrenkunde, beoefend als wetenschap of beroep, in samenhang met scheikunde, biologie en wiskunde. Hun gemotiveerde en enthousiaste leraren hebben veel ruimte voor eigen inbreng. Het flexibele lesprogramma legt veel nadruk op activiteiten: 'leren door doen' is effectiever dan 'leren door luisteren"[Berg 2006].

Het nieuwe leren wordt in de literatuur ook wel het constructivisme genoemd. Het belangrijkste uitgangspunt van het constructivisme is dat kennis niet passief wordt overgenomen, maar actief door lerenden wordt geconstrueerd [Veenman 2003]. Volgens Veenman roept elke actie een reactie op, en de nieuwe reactie op het constructivisme wordt het instructivisme genoemd. Hoewel het instructivisme vaak gelijk gesteld wordt aan het oude leren is ook hier ruimte genoeg voor vernieuwing. Het belangrijkste uitganspunt van het instructivisme is dat de docent duidelijke leerdoelen stelt en de stof op een zorgvuldige en gestructureerde manier aan de leerling aan biedt. Hierbij is het van belang zorgvuldig de leerprestaties van de leerlingen te evalueren en in te gaan op moeilijkheden die de leerlingen bij het leren ondervinden [Veenman 2003].

Ik zou het huidige natuurkunde onderwijs op Het Baarnsch Lyceum willen typeren als instructivistisch. Niet dat we niet open staan voor constructivistische ideeen, maar in de basis werken wij met duidelijke leerdoelen en een gestructureerde, docent gestuurde aanpak. Ook de huidige onderbouwmethode 'natuur en scheikunde actief' werkt volgens dit principe. Ook persoonlijk staat deze visie dichter bij mij dan het constructivisme. Ik heb daarom gekozen voor een instructivistische aanpak bij het schrijven van het werkboek en ben begonnen de leerdoelen duidelijk te formuleren.

Vervolgens de structuur van het werkboek. Het belangrijkste probleem zit in het feit dat we 3e klas stof naar de 2e klas halen. Een deel van de stof staat dus niet in het tekstboek van de 2e klas. Ik heb besloten om de theorie van de 3e klas stof in het werkboek beknopt tussen de opgaven te verwerken. Behalve dat deze stof lastiger is, is het ook van belang dat 'wat de leerling moet kunnen' duidelijk is afgebakend. Leraren vergeten soms welke aannamen ze doen om een abstract probleem op te lossen. Voor leerlingen bijvoorbeeld kunnen de verschillende kleuren van de stroomdraadjes tijdens een practicum al heel verwarrend zijn [Wieman 2005]. Het is tevens belangrijk om niet teveel (overbodige) gegevens te presenteren in een opgave. Leerlingen die net de formules hebben leren gebruiken raken dan in de war en komen er niet meer uit, volgens een onderzoek van W. Barowy en J. Lochhead van de Universiteit van Massachusetts, beschreven in een artikel van L. Mc Dermott [Mc Dermott 1984].
Verder leren leerlingen, zeker in de onderbouw, als 'novices'. Dit houdt in dat ze de natuurkunde als losse stukjes theorie zien die ze moeten leren. Zo kunnen ze dan uiteindelijk slechts een aantal specifieke situaties analyseren. Dit in tegenstelling tot 'experts', die de natuurkunde als een geheel zien en van daaruit een verklaring proberen te vinden voor een gegeven probleem [Wieman 2005].
In een constructivistische aanpak wordt vanaf het begin geprobeerd leerlingen als 'experts' te laten leren. Ik ben persoonlijk van mening dat, voordat er uberhaupt als expert gedacht kan worden, er eerst een kennisbasis aanwezig moet zijn. En leerlingen hebben van zichzelf de neiging als novice te leren. Ik zie niet in wat dan het probleem is om op deze manier stukjes kennis te vergaren, en deze later (in de bovenbouw) aan elkaar proberen te koppelen tot een meer expert niveau?
Volgens C. Wieman heeft dit wel tot gevolg dat leerlingen natuurkunde als abstract en saai gaan beschouwen [Wieman 2005]. Ik ben echter van mening dat je door afwisseling met vrijere opdrachten juist het vak context kunt geven ('en dit is wat we er nu mee kunnen'). Hier zouden applets een belangrijke rol kunnen gaan spelen. Ik heb er bewust voor gekozen deze nog niet toe te passen. Enerzijds omdat het anders 'teveel verandering ineens' wordt (de effectiviteit van de vragen en de applets kunnen elkaar beinvloeden), en anderzijds omdat deze heel gemakkelijk ingevoegd kunnen worden ter ondersteuning van het huidige lesmateriaal. Een groot voordeel van applets is dat ze juist die 'veronderstellingen' die experts maken al gemaakt hebben, waardoor zo'n model heel basaal laat zien wat er nou gebeurt. Vaak zelfs nog beter als een echte natuurkunde proef [Wieman 2005], al gebruik ik liever dan beide, want er gaat niets boven een mooie 'goocheltruuk'.

In een artikel over hoe studenten leren beschrijft E.F. Redish een veel gebruikte manier van probleemaanpak door novices als 'recursive plug and chug' [Redish 2006]. Dit houdt in dat er eerst gezocht wordt welke variabelen zijn gegeven en welke je moet uitrekenen, dan de formules erbij, vervolgens in de rekenmachine rammelen en klaar. Dit is echter een proces waarin alle variabelen 'nummers' zijn en geen betekenis hebben. Natuurlijk is deze vaardigheid niet het beoogde einddoel van een leerling die met natuurkunde in zijn pakket van de middelbare school komt. Toch vind ik het belangrijk dat leerlingen deze vaardigheid onder de knie hebben. De betekenis toevoegen komt als eerste stap daarna.
Dat veel leerlingen deze manier van probleemaanpak gewend zijn blijkt vaak uit hun vragen. Vragen als "mijnheer, wat moet ik precies doen?", "mijnheer wat moet ik nu invullen" en "Ik heb er niet hetzelfde getal uit als u" getuigen hiervan. Ik zeg dan 'give them what they need first'. Het klopt ook met de bevindingen van Borowy en Lochhead [McDermott1984].

In zijn betoog ‘vakbegrippen als alternatief’ beschrijft P. Licht 3 niveau’s van begripsontwikkeling. Het eerste niveau is het intuitieve niveau, dat is het startniveau van de leerlingen (het ‘gevoel’). Het tweede niveau is het beschrijvende niveau, waar de vakbegrippen hun plaats krijgen aan de hand van praktijksituaties (gemeten waarden). Het 3^{e} niveau is het verklarend-theoretisch niveau, waar verbanden worden gelegd op een abstract niveau en verklaringen worden gevonden vanuit deze verbanden. [Licht 1987].

Licht beantwoordt in zijn betoog de volgende vraag:
“betekent dat nu automatisch dat we ons in de onderbouw bezig houden met relaties op beschrijvend niveau en in de bovenbouw met relaties op theoretisch niveau?”

“Het is speculatief om aan te nemen dat we in de onderbouw niet verder zouden kunnen komen dan het beschrijvend niveau. Maar het zinvol werken op het verklarend niveau vereist wel de vorming van een verzameling gesystematiseerde relaties op het beschrijvende niveau. Het opbouwen van een dergelijke verzameling kost tijd.”[Licht 1987]

Licht waarschuwt in zijn betoog voor het leren van abstracte verbanden op theoretisch niveau zonder dat de leerling deze ook fysiek heeft aangetoond, bijvoorbeeld in een practicum.
Ik heb een aantal maal een ‘beschrijvend’ practicum gedoen met de leerlingen, om hen een basis te geven voor de theoretische verbanden. We zullen straks in de tests zien of op het beschrijvende niveau voldoende verbanden zijn gelegd.

Licht waarschuwt tevens voor een aantal hardekkige ideeen op intuitief niveau die de vorming van juiste relaties op begripsniveau in de weg staan, in de literatuur ook wel ‘misconcepties’ genoemd.
Ook hier heb ik rekening gehouden bij het maken van de opgaven. Een aantal misconcepties die Licht heeft genoemd heb ik gepoogd duidelijk in specifieke opgaven aan de leerlingen duidelijk te maken. Ook hiervan zullen we in de tests zien in hoeverre dit heeft doorgewerkt.

Op basis van bovenstaande theorie heb ik 4 denkniveau’s gedefinieerd voor de leerlingen. Deze zijn als volgt:

1. Novice – eenvoudig
2. Novice – moeilijk
3. Expert - eenvoudig
4. Expert – moeilijk

Het eerste niveau is ‘letterlijke leervragen’. Het tweede niveau zijn ‘rekensommen’, die leerlingen met ‘recursive plug and chug’ [Redish 2006] zouden moeten kunnen beantwoorden. Beide niveau’s hebben eigenlijk nog weinig met ‘begrip’ te maken zoals bedoeld met het beschrijvende niveau van Licht.
Het derde niveau is eigenlijk het begin van wat Licht met het beschrijvende niveau bedoeld. Eenvoudige problemen, waarbij je duidelijk kunt zien of leerlingen begrijpen wat bepaalde grootheden nu voorstellen en hoe basale verbanden werken. Het vierde niveau is het expertniveau waarbij leerlingen verbanden moeten kunnen leggen tussen het beschrijvende niveau en het theoretische niveau zoals beschreven door Licht. Hier moeten ze zelf verbanden leggen die ze niet in de opgaven hebben geoefend.

Ik heb de opbouw van de opgaven ook zoveel mogelijk volgens deze vier niveau's laten verlopen. Als de leerlingen het 3e niveau bereiken dan ben ik van mening dat dat een goede basis is voor uitbreiding naar het vierde niveau in de bovenbouw.

In het derde niveau, waar de context belangrijk wordt, treden eigenlijk pas de eerste conflicten op met het intuitieve niveau van Licht. Misconcepties horen dan ook thuis op dit niveau. Hieronder zal ik beschrijven met welke misconcepties ik specifiek rekening heb gehouden bij het maken van de opgaven. Een aantal hiervan zijn ontleend aan een onderzoek naar begrips en redeneerproblemen van leerlingen in de onderbouw van P.Licht en M.Snoek [Licht 1986]

1. het verschil tussen kortsluiting en overbelasting
leerlingen leren beide begrippen, maar het gevolg 'de stop slaat door' hoort bij beide. Wat nu de achterliggende gedachte is weten ze vaak niet. 'ja, teveel stroom'. Maar hoe komt dat precies?

2. ideeen over stroombehoud [Licht 1986]
als er iets stroomt, moet er ook iets opgaan. Veel leerlingen denken dat dat de stroom is. Ze kunnen niet bedenken dat in een serieschakeling overal de stroom gelijk is.

3. ideeen over spanningsverdeling [Licht 1986]
veel leerlingen halen 'stroombehoud' en 'spanningsbehoud' door elkaar. Dit resulteert in een serieschakeling waar overal de spanning gelijk is in plaats van eerlijk verdeeld over alle onderdelen

4. lokaal redeneren [Licht 1986]
ieder deel van de schakeling wordt apart bekenen. De samenhang tussen de deelschakelingen klopt dan niet meer.

5. sequentieel redeneren [Licht 1986]
de foute redenering is hier dat een verandering verderop in een schakeling geen invloed heeft op het deel daarvoor. De berekende waarden voor stroom en spanning blijven daar dan gelijk aan de eerdere situatie, wat dus verkeerd is. Dit noemen zij ook wel sequenteel redeneren.

In het onderzoek zal worden ingegaan op deze misconcepties, en hoe de leerlingen het hier vanaf hebben gebracht.

3. Het onderzoek

Het feitelijke onderzoek dat gedaan is is geheel gebaseerd op de prestaties tijdens de toetsen van de leerlingen in klas 2 en 3 gedurende de periode waarin het nieuwe werkboek is uitgetest. Klas b2e en g3a hebben met het nieuwe werkboek gewerkt (de testklassen), de andere klassen (b2c, g2a, v3c en v3e) hebben met het oude werkboek gewerkt. De resultaten van deze klassen worden als referentie gebruikt (de controleklassen). Bij elkaar zijn de resultaten van 135 leerlingen gebruikt.

De opgaven van het nieuwe werkboek zijn voor de aanvang van de periode gemaakt. Het was lastig ook een lesplanning van te voren te maken, aangezien het onduidelijk was hoe lang de leerlingen bezig zouden zijn met de stof. Het werkboek is te vinden in bijlage 1. Wat er uiteindelijk per les is gedaan in de testklassen is te vinden in bijlage 2.
Belangrijk om te vermelden is dat in plaats van de oorspronkelijke 3 weken die gepland stonden voor de 2^{e} klas in de testklas b2e de hele periode van 7 weken is besteed aan het nieuwe werkboek. Zo is bijna alle stof aan bod gekomen uit het werkboek, op het laatste onderdeel 'draadweerstand' na. In testklas g3a is het hele werkboek behandeld in 5 weken (wel 1 les meer per wwek als klas 2). Deze leerlingen hebben een week extra practicum gedaan voor een verslag. Hier is uiteindelijk nog 1 week extra practicum toegevoegd, om de leerlingen nog wat extra uitdaging te bieden.
In klas b2e zijn in deze periode een so, een tussentoets en een eindtoets afgenomen. In klas g3a een tussentoets, een eindtoets en een verslag. Om te kunnen vergelijken zijn er zoveel mogelijk overeenkomstige sommen gebruikt in de toetsen tussen de beide testklassen en in de toetsen van de controleklassen.
Er is uiteindelijk gekozen om geen instaptoets af te nemen, aangezien klas 2 nog helemaal niets over elektriciteit heeft gehad, en klas 3 al wel. Het is daarom lastig om vragen op de verschillende niveau's te bedenken voor een instaptoets die resultaten opleveren die te vergelijken zijn met elkaar. Ook de resultaten van de eerste so voor klas b2e zijn niet meegenomen, deze is niet afgenomen in de controlegroepen.

In bijlage 3 zijn de toetsvragen die vergelijkbaar zijn weergegeven. Deze zullen worden gebruikt voor de vergelijkende testen. In deze bijlage is tevens per vraag aangegeven bij welke van de vier niveau's de vraag hoort. Vervolgens zijn per niveau de scores van de leerlingen met elkaar vergeleken. Dit is gebeurd per vraag, en daarna is op elk niveau per leerling de score van de vragen opgeteld. Deze scores worden uiteindelijk met elkaar vergeleken. Niet elke vraag is aan elk klas gesteld, daarom zijn er per niveau verschillende combinaties van vragen gemaakt om de scores van de klassen te kunnen vergelijken. In bijlage 4 zijn de scores voor de geselecteerde opgaven van alle klassen per niveau gerangschikt. In bijlage 5 zijn de resultaten van de verschillende combinaties van opgaven per niveau te vinden. Op deze gegevens zijn de resultaten in de diagrammen die hierna gepresenteerd worden gebaseerd. Tenslotte zijn de scores van de leerlingen op een aantal specifieke opgaven met elkaar vergeleken. Dit om iets dieper in het begripsniveau te kunnen kijken aan de hand van een aantal misconcepties die in deze vragen specifiek aan de orde zijn.

3.1 Statistische toets

Nu is het makkelijk om percentage's van scores met elkaar te vergelijken. De vraag is echter of de gevonden verschillen wel relevant zijn. Om dit na te gaan zijn alle vergelijkingen aan een statistische toets onderworpen. De resultaten hiervan zijn ook te vinden in bijlage 4 en 5.

Bij de presentatie van de resultaten zal de relevantie die uit deze statistische toets volgt ook meegenomen worden.

De statistische toets die gebruikt is gebaseerd op een diktaat statistiek van de Universiteit Twente [Poortema2001] en ziet er als volgt uit:

Kansmodel: $X_1,\ldots,X_n$ en $Y_1,\ldots,Y_m$ zijn onderling onafhankelijke stochastische variabelen met $X_i \sim N(\mu,\sigma^2)$ en $Y_i \sim N(\upsilon,\sigma^2)$. X en Y stellen de score van de opgave van elke leerling voor. Hoewel de scores discrete getallen zijn is toch gekozen voor een normale verdeling met ombekende verwachtingen μ en υ. Deze verwachtingen worden geschat met de gemiddelde score voor beide klassen $\overline{X}$ en $\overline{Y}$. Verder is de variantie σ^2 onbekend. Verondersteld wordt wel dat alle klassen dezelfde variantie σ^2 hebben. Deze aanname is toch gemaakt, ondanks dat het verschil in niveau tussen de klassen (klas 2, klas 3, havo en vwo) wellicht een verschillende variantie tot gevolg zou kunnen hebben. De variantie wordt geschat met de steekproefvariantie S^2.

Voorwaarde: H_0: $\mu = \upsilon$, H_1: $\mu > \upsilon$ of $\mu < \upsilon$. Als nulhypothese wordt de sterke voorwaarde gesteld dat er geen verschil is. Dit maakt de kans op een statistische fout zo klein mogelijk.

Toetsingsgrootheid: $T = \dfrac{\overline{X} - \overline{Y}}{S\sqrt{\dfrac{1}{n} + \dfrac{1}{m}}}$ met $\overline{X}$ en $\overline{Y}$ de gemiddelde score voor elke klas.

S = $\sqrt{S^2}$ en $S^2 = \dfrac{\mathrm{var}(X) + \mathrm{var}(Y)}{n + m - 2}$ met var(X) en var(Y) het kwadraat van de standaardafwijking per steekproef.

Verdeling: onder H_0 heeft T een student-verdeling met n+m-2 vrijheidsgraden

Kritieke waarde: in de tabel voor de student-verdeling kan deze worden opgezocht. Voor steekproeven met rond de 50 vrijheidsgraden ligt deze waarde op 2,01 bij een betrouwbaarheidspercentage van 5% (t = 0,975). Deze waarde is voor alle toetsen gebruikt, aangezien het aantal vrijheidsgraden voor alle vergelijkenm tussen de 40 en 60 ligt

Toetsing: verwerp H_0 wanneer T < -2,01 of T > 2,01

Voor de vergelijkingen per niveau was het soms vervelend dat een collega de scores van inhaalleerlingen bij alle toetsen niet verwerkt had in zijn excelsheet. Hierdoor konden de totalen per leerling niet worden uitgerekend voor die klassen. Het weglaten van al deze leerlingen uit de scores is een optie, maar hierdoor zou het aantal leerlingen in de controlegroep wel erg laag worden. Er is voor gekozen bij het vergelijken per niveau met deze groepen een aparte combinatie van (minder) opgaven te maken in dat niveau van opgaven die telkens in 1 toets zaten, waardoor er wel totalen per leerlingen te maken zijn. Deze kunnen dan voor deze selectie wel worden vergeleken met een statistische toets.

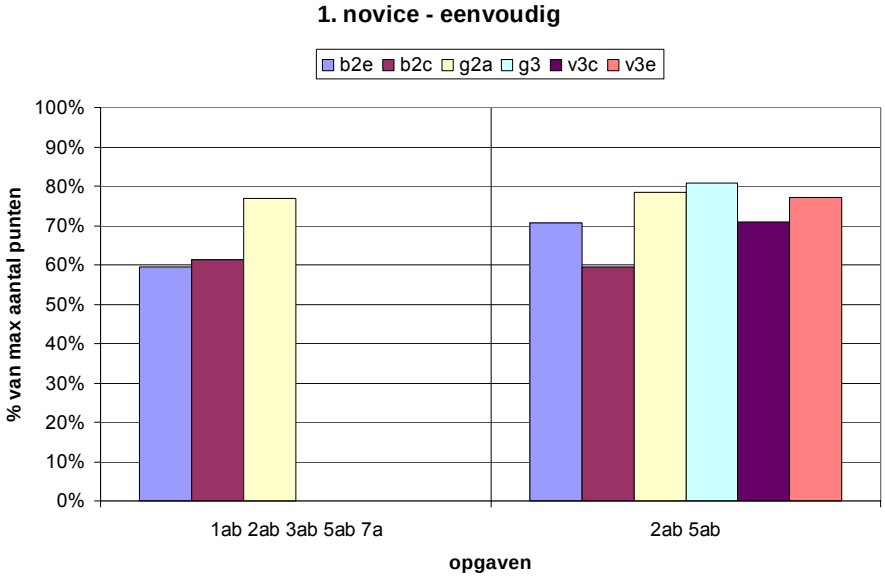
4. Resultaten

4.1 Resultaten evaluatie collega's

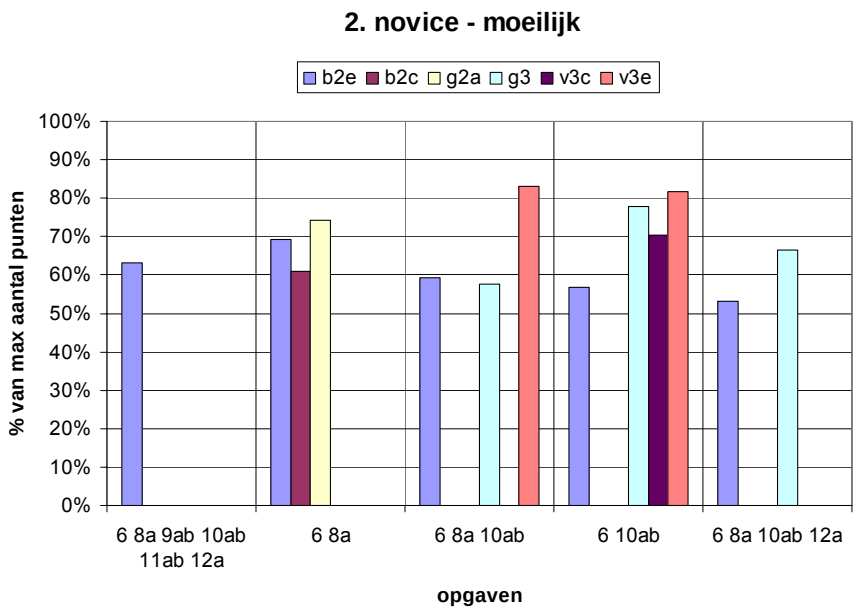
Aan het begin van de periode is het materiaal geevalueerd door verschillende collega's. Een belangrijke opmerking van collega Meeuwissen, die zelf in de onderbouw lesgeeft, was dat er in het materiaal eigenlijk 'leervragen' ontbreken. Deze zijn eigenlijk bedoeld om de leerlingen te helpen om de tekst in het tekstboek door te lezen en eruit te halen wat belangrijk is. Dit was haar eigenlijk al opgevallen bij andere hoofdstukken van het werkboek. Zij heeft de taak op zich genomen om deze te maken voor het werkboek, dus ook voor het werkboek dat ik geschreven heb over elektriciteit. Ik heb deze naast het materiaal gebruikt in b2e en g3a. Ze zijn te vinden in bijlage 1. De leerlingen waren hier erg content mee, en het vormt een mooie inleiding als huiswerk om een inleidende les over een onderwerp af te sluiten. De andere collega's hadden verder geen commentaar.

4.2 Resultaten onderzoek naar niveau

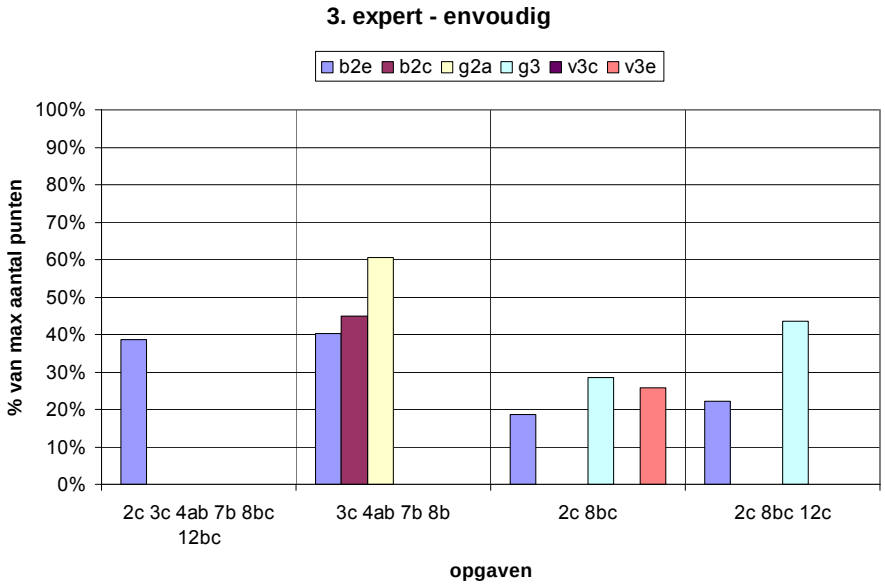
Per niveau zijn de scores van de leerlingen opgeteld voor de vragen die binnen dat niveau met elkaar vergeleken konden worden. Deze zijn per niveau in een staafdiagram gezet als percentage van de maximale score. De verschillende vragensets die gebruikt zijn om de klassen te kunnen vergelijken zijn vermeld onder elk gedeelte van elk diagram. Tevens zijn in alle diagrammen alle klassen vermeld, zodat de diagrammen per niveau ook onderling vergeleken kunnen worden. Bij elk diagram is een kleine toelichting gegeven en worden de uitkomsten van de statistische toetsen vermeld.



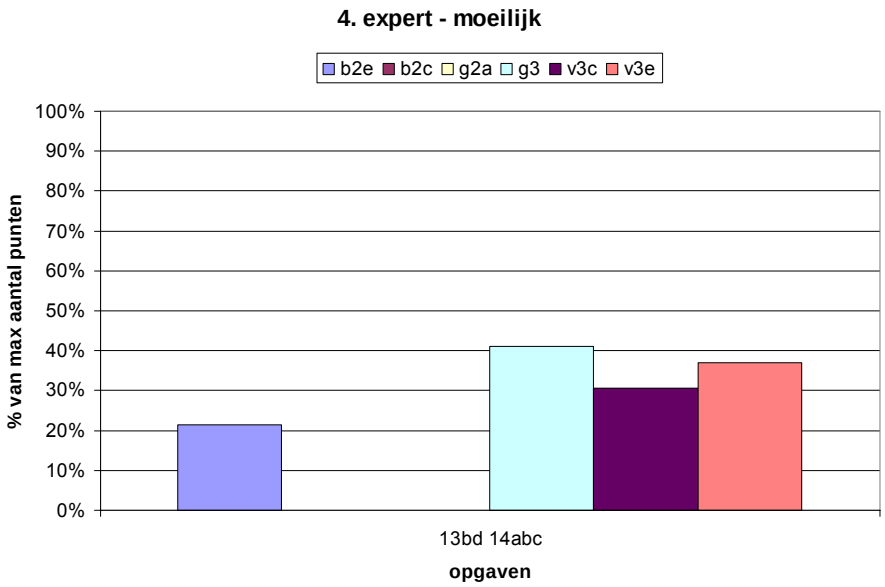
In de eerste set opgaven is er statistisch geen verschil tussen b2e en b2c en wel tusssen b2e en g2a. In de tweede set opgaven is er statistisch geen verschil tussen g2a en g3. B2e heeft hier statistisch beter gescoord als b2c en minder als g2a, g3 en v3e. Geen statistisch verschil is er tussen b2e en v3c. Opmerkelijk is wel het verschil tussen de score van b2e in de beide sets opgaven.



De eerste set opgaven is gemaakt om het algemene niveau van klas b2e te bepalen. In de tweede set heeft b2e statistisch beter gescoord als b2c en statistisch minder als g2a. In de derde set is er tussen b2e en g3 statistisch geen verschil. Beide hebben statistisch wel minder gescoord als v3e. In de derde set heeft b2e statistisch minder gescoord dan de 3^{e} klassen. G3 heeft statistisch beter gescoord dan v3c en minder als v3e. In de laatste set heeft b2e statistisch minder gescoord dan g3.



De eerste set is weer gemaakt om het algemene niveau van b2e te bepalen. In de tweede set heeft b2e statistisch minder gescoord dan b2e en g2a. In de derde set heeft b2e statistisch minder gescoord dan g3 en v3e. g3 heeft statistisch beter gescoord dan v3e. in de vierde set heeft g3 statistisch beter gescoord dan b2e.



Op dit niveau heeft b2e statistisch minder gescoord dan alle 3e klassen. G3 heeft statistisch het beste gescoord van alle klassen.

4.3 Resultaten onderzoek misconcepties.

Bij elke geselecteerde misconceptie behoort een specifieke vraag uit de toetsopgaven. Hier is vooral gekeken naar het verband tussen de antwoorden die de specifieke leerlingen hebben gegeven. De resultaten zijn vooral indicatief bedoelt, vandaar dat er geen statistische toets is toegepast op de resultaten.

1. het verschil tussen kortsluiting en overbelasting

Dit verschil is aan bod gekomen in vraag 22, 23 en 24 van het werkboek. In de toets was dit de volgende vraag:

7. Een zekering zit in een elektrische huisinstallatie ter voorkoming van brand. Hij schakelt uit bij een te grote stroomsterkte. In de huisinstallatie kan op twee manieren een te hoge stroomsterkte ontstaan.
a Welke twee zijn dat?
b Omschrijf van beide kort hoe het ontstaat.

	7a			7b		
# p	0	1	2	0	1	2
B2e	18%	43%	39%	39%	29%	32%
B2c	19%	43%	38%	19%	43%	38%
G2a	19%	24%	57%	10%	38%	52%

Zo te zien weten de leerlingen die ze allebei weten ook wat het verschil is. De meesten weten er gelukkig wel een te noemen, meestal was dit kortsluiting. Hoe dat komt weten ze dan zo te zien ook wel te vertellen. Klas b2e doet het hier vergelijkbaar met klas b2c, wat mij tevreden stemt wat betreft het werkboek.

2. ideeen over stroombehoud

Dit is aan bod gekomen in meerdere opgaven in het werkboek. Specifiek in opgave 19, verder bij het rekenen aan serieschakelingen bij opgave 38, 41 en 44. Opgave 38 over de kerstboomverlichting is eigenlijk het model voor de toetsopgave:

8. Op school gebruiken we lampjes die je aan moet sluiten op 6 V. Als zo'n lampje aangesloten is op 6 V, is de stroomsterkte door het lampje 0,04 A.
Je kunt oneindig veel lampjes in serie schakelen.
b Leg uit waarom dat kan, zonder dat de zekering eruit springt.

	8b		
#p	0	1	2
B2e	79%	0%	21%
B2c	100%	0%	0%
G2a	76%	14%	10%
g3	100%	0%	0%
v3e	77%	23%	0%

Deze opgave is door bedroevend weinig leerlingen goed beantwoord. Hier speelt de manier van vraagstelling waarschijnlijk ook een rol. Toch komen de leerlingen er niet uit dat de stroomsterkte per lampje omlaag gaat. Opvallend is dat hier geen verschil is tussen klas 2 en 3, juist de blanco score van g3 valt op.

3. ideeen over spanningsverdeling

Dit is vergelijkbaar met misconceptie 2. Dit is ook aan bod gekomen bij het rekenen aan serieschakelingen in opgave 38, 41 en 44. Wederom staat opgave 38 model voor de toetsopgave:

8. Als je te veel lampjes serie schakelt, ontstaat er wel een ander probleem.
c Welk ander probleem?

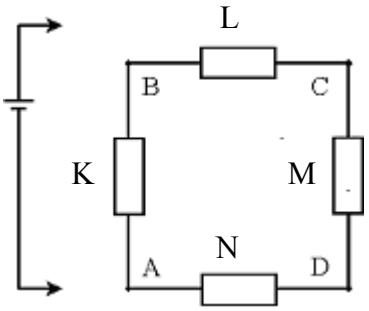
	8c		
#p	0	1	2
B2e	71%	4%	25%
G2a	10%	29%	62%
g3	68%	0%	32%
v3e	68%	18%	14%

Opvallend is dat er hier door de leerlingen beter wordt gescoord als bij opgave 8b. Opmerkelijk is verder dat er zeer weinig leerlingen zijn in alle klassen die zowel b als c goed hadden. In b2e bijvoorbeeld zijn dat er slechts 2 (7%). Ook de score van g2a is verassend te noemen ten opzichte van de andere klassen.

4. lokaal redeneren

Het rekenen aan vervangingsweerstanden is uitgebreid aan bod gekomen in meerdere opgaven. Specifiek de stroomsterkte berekenen bij een combinatieschakeling niet, maar wel bij een parallelschakeling.

14. Vier weerstanden van 60 Ω worden aan elkaar gemonteerd volgens het hiernaast staand schema. De spanning van de spanningsbron is 90 V.



a. Bereken de vervangingsweerstand als de punten A en B worden aangesloten op de spanningsbron.

b. Bereken de vervangingsweerstand als de punten A en C worden aangesloten op de spanningsbron.

c. Bereken zowel voor de situatie van vraag (a) als die van vraag (b) de stroomsterkte door weerstand K.

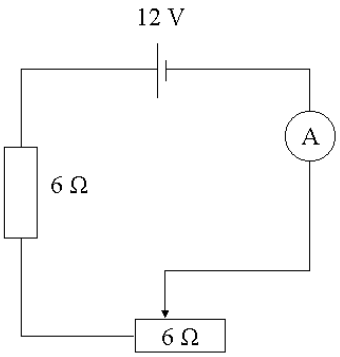
Wat deze opgave bijzonder maakt is dat leerlingen a en b fout kunnen hebben (dus niet weten hoe de schakeling in elkaar steekt) maar toch een goed antwoord op c kunnen hebben. Wat ik in het bijzonder veel heb gezien is dat leerlingen bij c1 de stroomsterkte over weerstand K direct met de wet van ohm uitrekenen, zonder te letten op de omgeving. Dat dit lokaal redeneren is kwam aan het licht doordat ze dezelfde redenatie toepassen op c2, die dus niet goed is. Ik heb de scores per leerling op deze vraag vergeleken. De volgende tabel geeft aan hoeveel leerlingen bij a en b 2 of minder punten hebben gescoord maar bij c tussen de 2 en 4 punten. Dit laatste geeft aan dat ze c1 goed hebben, zoals beschreven, maar c2 fout, dus lokaal geredeneerd hebben. Uit de tabel blijkt dat 36 tot 55% van de leerlingen verkeerd lokaal geredeneerd heeft. Overigens heeft 14 tot 33% het wel goed gedaan, ongeacht de score op 14 a en b.

14ab 0,1,2 en	14c 2,3,4	14c 5,6
B2e	36%	14%
g3	39%	29%
v3c	44%	33%
v3e	55%	25%

5. sequentieel redeneren

Dit probleem is behandeld aan de hand van een schuifweerstand of variabele weerstand. Deze zijn specifiek aan bod gekomen in opgave 43,44 en 47. De opgave in de toets is de volgende:

12. In nevenstaande schema is een vaste weerstand van 6 Ω en een regelbare weerstand van 6 Ω opgenomen. De stroom doorloopt ⅓ van de regelbare weerstand.



a. Bereken de stroom die door de schakeling loopt.

Jan wil dat er een stroom van 0,5 A door de schakeling gaat.

c. Kan hij de regelbare weerstand zo instellen dat de stroom 0,5 A is?
Zo ja, hoe moet hij hem dan instellen?
Zo nee, waarom niet?

Opgave 12a is een opgave die de leerlingen moeten kunnen oplossen met 'recursive plug and chug' [Redish 2006]. Het begrip blijkt dan uit opgave c. Ik wil daarom de scores vergelijken van leerlingen die a goed hadden (3 of 4 punten) en b fout (2 of minder punten). Volgens P.Licht en M. Snoek [Licht1986] zijn er vele verschillende redenaties mogelijk bij deze misconceptie. Waar het om gaat is echter het sequentieel redeneren.

	12a 3,4 en 12c 0,1,2	12c 3,4
B2e	18%	29%
G3	7%	75%
v3c	6%	61%
v3e	5%	70%

Tevens zijn de scores gegeven van de leerlingen die 12c goed of nagenoeg goed hadden. Te zien valt dat de meeste leerlingen in de derde klas dit goed doen. Voor klas 2 lijkt dit toch meer een probleem. De misconceptie komt niet heel vaak voor zo te zien, vaker in klas 2 als in klas 3. Het blijft echter gissen of de leerlingen hier een fout hebben gemaakt op basis van sequenteel redeneren of dat er iets anders is misgegaan. In klas b2e heb ik bijvoorbeeld vaak gezien dat leerlingen moeite hadden met het gegeven: 'de stroom doorloopt 1/3 van de regelbare weerstand', iets wat bij klas g3 veel minder vaak voorkwam.

5. Conclusies

Het novice – eenvoudig niveau is voldoende ontwikkeld. Dit is zo bij de controleklassen als bij de testklassen. Klas b2e heeft het vergelijkbaar gedaan met b2c, en die klas is van hetzelfde niveau. In g2a zitten toch kinderen die makkelijker kunnen leren. Ze kunnen zich zelfs aardig meten met de derde klassen. Alleen lijkt het dat de gekozen opgavenset wat klein is om hier een sterke uitspraak over te doen. Voor dit niveau lijkt het nieuwe werkboek prima te voldoen.

Het novice – moeilijk niveau is ook voldoende ontwikkeld. B2e scoort ruim voldoende op dit onderdeel. Het niveau zit tussen dat van b2c en g2a in. Ten opzichte van de derde klassen scoren ze echter minder goed. Ook voor dit niveau lijkt het nieuwe werkboek prima te voldoen.

Het expert – eenvoudig niveau is niet voldoende ontwikkeld. Dit is bij zowel de tweede als de derde klassen alleen bij g2a op niveau, met als kanttekenig dat deze klas alleen de oude 2^{e} klasstof heeft gehad. Voor dit niveau lijkt het nieuwe werkboek dus niet te voldoen. Echter, ook het oude werkboek voldoet hier niet. De scores van alle klassen zijn hier dusdanig laag dat van verschillen onderling ook weinig te zeggen valt.

Het expert – moeilijk niveau is ook niet voldoende ontwikkeld. De klas b2e scoort weliswaar lager ten opzichte van de derde klassen, maar ook deze scoren ruim onvoldoende. De kleine verbetering van g3 ten opzichte van de andere klassen lijkt mij niet direct toe te schrijven aan het nieuwe werkboek, maar eerder aan het denkniveau van deze leerlingen. Ook voor dit niveau lijkt het nieuwe werkboek niet te voldoen. Echter, ook hier geldt hetzelfde voor het oude werkboek.

Algemeen kan er geconcludeerd worden dat het nieuwe werkboek zonder problemen kan worden ingevoerd als vervanging van het oude werkboek. Het verplaatsen van 3^{e} klas stof naar de tweede klas levert een kleine verslechtering op van de scores, maar het gemiddelde blijft voldoende. Ook dit lijkt dus geen probleem. Daarmee lijkt de opzet van dit onderzoek geslaagd te zijn. Echter, een belangrijk algemeen beeld dat uit dit onderzoek naar voren is gekomen is dat het expert-denkniveau van alle leerlingen onvoldoende is ontwikkeld. Deze conclusie staat volledig los van het vergelijkende onderzoek.

Ook het onderzoek naar de misconcepties laat dit beeld zien. Het verschil tussen kortsluiting en overbelasting weet minder als de helft goed te omschrijven. Verder is het bedroevend om te zien hoe weinig leerlingen stroombehoud en spanningsverdeling goed kunnen toepassen. De resultaten zijn weliswaar gebaseerd op een enkele vraag, maar wel aardig representatief gezien het grote aantal leerlingen. Lokaal redeneren lijkt voort te komen uit het ‘recursive plug and chug’[Redish 2006] dat de leerlingen geleerd hebben toe te passen. Dat zou het hoge percentage van 36 tot 55% verklaren van de leerlingen die dit doen. In het onderzoek van P.Licht en M.Snoek [Licht1986] is dit overigens 57%. Sequentieel redeneren leek weinig voor te komen, maar dit valt weer te verklaren met het feit dat de toetsvraag die hierbij hoort ook in het boek zo wordt gesteld, en het oplossen met een specifieke geleerde strategie mogelijk is.

6. Discussie

Eerder heb ik de lesmethode op Het Baarnsch Lyceum geclassificeerd als ‘instructivistisch’. Ook mijn gedachte bij het schrijven van het nieuwe werkboek is gestoeld op deze aanpak. Natuurlijk ben ik blij dat er ten opzichte van het oude werkboek geen ernstige verslechtering lijkt te zijn opgetreden. Ook het verplaatsen van de stof lijkt in verhouding geen ernstig probleem te veroorzaken. Ondanks alle verschillen, tussen niveau’s van klassen onderling, het lesgeven van verschillende docenten onderling, hoe kijkt een docent na, zijn de gebruikte opgavensets wel groot genoeg om een conclusie te trekken, komt er echter een trend duidelijk naar voren: het gebrek aan expert – denkniveau.

In mijn optiek is het belangrijk dat leerlingen in ieder geval ‘recursive plug and chug’ [Redish 2006]’ beheersen. Dit lijkt met een voldoende voor niveau 2. novice – moeilijk ook zo te zijn. Echter, het begrip blijkt ver onder de maat te zijn. Niveau 3. expert – eenvoudig, het begripsniveau van P. licht [Licht 1987] is al ver onderontwikkeld. En de magere scores op niveau 4. expert – moeilijk lijken voornamelijk behaald met de ‘recursive plug and chug’ [Redish 2006] skills van niveau 2 novice - moeilijk. Dit wordt gestaafd door de resultaten uit het onderzoek naar een aantal specifieke misconcepties. Dit kan twee oorzaken hebben. Of de leerlingen in de onderbouw kunnen dit niveau niet aan, of de methode die gebruikt wordt stimuleert niet voldoende om dit niveau te ontwikkelen. In mijn optiek is de tweede oorzaak de hoofdverdachte van deze ontwikkeling. Het lijkt erop dat we teveel stof willen leren aan de leerlingen, waardoor er te weinig tijd is om op begripsniveau voldoende basis te leggen. Dit komt overeen met het antwoord op de vraag van P.Licht die eerder geciteerd is in dit onderzoek:

“Het zinvol werken op het verklarend niveau vereist wel de vorming van een verzameling gesystematiseerde relaties op het beschrijvende niveau. Het opbouwen van een dergelijke verzameling kost tijd.”[Licht 1987]

7. Aanbevelingen

Tja. Een harde conclusie. En wat nu te doen? Behandelen we teveel stof tegelijk? En kan daar iets aan gedaan worden? Minder stof behandelen lijkt niet echt een optie. Maar wat dan wel? En in hoeverre is het belangrijk om het begripsniveau al in de onderbouw op te bouwen?

Zoals altijd zal er een compromis moeten worden gesloten. Aan de ene kant zitten we met tijdsdruk, aan de andere kant met begrip. Het lijkt erop dat momenteel teveel concessies aan het begrip worden gedaan voor de tijdsdruk. Het is van belang deze balans toch iets in de richting van het begrip te verschuiven.

Nu is er prakticum gedaan met alle klassen. Is dit voldoende geweest? Het lijkt erop van niet. Met de derde klassen is zelfs een extra practicum gedaan over de wet van ohm waarover een verslag moest worden geschreven. De specifieke bedoeling van dit practicum was om het begripsniveau te verhogen van deze groep. Echter, uit de resultaten blijkt dat dit ook voor hen nog steeds onvoldoende is. Het toevoegen van een extra practicum alleen lijkt dus niet voldoende te helpen.
Wat wel zou kunnen werken is het werken met een virtuele prakticumomgeving als ondersteuning. In zijn artikel 'transforming physics education' houdt Carl Wieman een pleidooi hiervoor. *'interactive simulations that run through a regular webbrowser can be highly effective'* [Wieman2005]. Wat een voordeel is van een dergelijke prakticumomgeving is dat leerlingen er thuis ook mee aan de gang kunnen. Op begripsniveau kunnen zij dan inderdaad nagaan hoe bepaalde verbanden werken, en in hun eigen tempo. Er zullen dan extra opgaven moeten worden gemaakt om deze leerlingen ook daadwerkelijk thuis aan de gang te krijgen hiermee. Ook kunnen enkele bestaande opgaven aangepast worden om na te bouwen in een dergelijke omgeving. Van belang is dan om het zo in te richten dat leerlingen dit ook daadwerkelijk gaan doen thuis. Dit zou bijvoorbeeld kunnen door ze kleine opdrachtjes te laten inleveren voor een cijfer. Een goede virtuele prakticum omgeving is gelukkig niet moelijk te verkrijgen. Het programma 'ElektriX' van de UvA lijkt goed te kunnen voldoen (http://www.science.uva.nl/institutes/cma/software/elektrix/). Leerlingen kunnen het programma thuis downloaden, als docent kun je specifieke opgaven ontwerpen in een docentversie en, het is een gratis omgeving, dus met invoeren geen belemmeringen op dat gebied.
Er is in de huidige lessenserie voor de tweede klas twee maal practicum gedaan, een practicum 'lading' en een practicum 'schakelingen bouwen'. Het lijkt mij een aanbeveling om na dat tweede practicum deze ook in de virtuele omgeving na te doen.
Ik denk dat het vanaf dan belangrijk is dat de leerlingen minstens een keer per week in de les een opgave met de virtuele omgeving in de les doen. Dit kan ingepast worden in de tijd die leerlingen krijgen in de les om zelf aan opgaven te werken. Verder dan per week een kleine opdracht om zelf thuis te doen. Volgens de huidige lessentabel komt dit dan neer op 3 a 4 kleine opdrachten om na te kijken, dat valt nog wel mee.

Zijn we er dan? Het gebruik van zo'n virtuele practicumomgeving is natuurlijk niet meteen zaligmakend. Van belang is om komend jaar dit in te voeren naast het nieuwe werkboek, en de resultaten goed te monitoren. Een onderzoek als dit zou wederom kunnen worden uitgevoerd, waarbij het van belang is om er op te leten of het niveau 3. expert – eenvoudig naar voldoende is opgekrikt. Zoals eerder gesteld denk ik dat daar de grootste winst te behalen is, en dat leerlingen daarmee een goede basis kunnen ontwikkelen voor een vervolg in de bovenbouw.

8. Bronnen

[Berg 2006] *NiNa in het kort*, E.van den Berg, M. Pieters, C. van Weert, presentatie visie Nieuwe Natuurkunde, augustus 2006

[Licht 1986] *Elektriciteit in de onderbouw*, P.Licht, M. Snoek, tijdschrift NVON, jaargang 11, november 1986

[Licht 1987] *Vakbegrippen als alternatief*, P.Licht, verslag woudschoten conferentie natuurkunde, 1987

[McDermott1984] *Research on conceptual understanding in mechanics*, L. C. McDermott, tijdschrift physics today, juli 1984

[Poortema2001] *statistiek voor WB*, diktaat Universiteit Twente, januari 2001

[Redish 2006] *Reverse-engineering the solution of a 'simple' physics problem: Why learning physics is harder than it looks*, E.F.Redish, R.E.Scherr, J.Tuminaro, tijdschrift the physics teacher, jaargang 44, mei 2006

[Veenman 2003] *Constructivisme en instructivisme,* S.Veenman, tijdschrift onderzoek van onderwijs, juni 2003

[Wieman 2005] *Transforming Physics Education,*C.Wieman, K. Perkins, tijdschrift Physics Today, november 2005

Internetlinks:

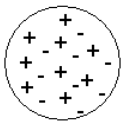
ElektriX http://www.science.uva.nl/institutes/cma/software/elektrix/

[Berg 2006] http://www.nieuwenatuurkunde.nl/

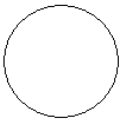
Bijlage 1 Het nieuwe werkboek.

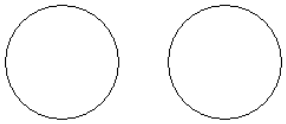
Het werkboek **Lading**

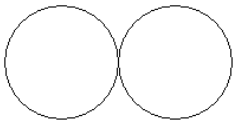
1. Beschrijf in één zin wat er gebeurt als een voorwerp negatief wordt geladen door erover te wrijven met een lap.



2. Vrije elektronen kunnen zich vrij verplaatsen door een geleider. In een elektrisch neutrale geleider zijn er evenveel elektronen als protonen. We geven dit aan zoals getekend in het eerste bolletje. Als een stof negatief of positief geladen is tekenen we *alleen* plusjes of minnetjes.
   a. geef in het koolstof bolletje hiernaast aan dat het positief geladen is
   b. nu hebben we een negatief geladen koolstof bolletje en een neutraal koolstof bolletje. Teken in het plaatje hiernaast wat er met de ladingen gebeurt als ze *vlak bij* elkaar worden gehouden
   c. Zelfde bolletjes, alleen worden ze nu *tegen* elkaar gehouden. Hoe verdeelt de lading zich nu? Teken dat.





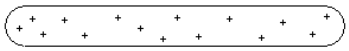


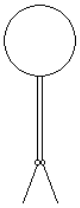
3. Juist als de lucht erg droog is, bijvoorbeeld als het vriest overdag, heb je een grote kans om statisch geladen te worden. Je krijgt dan schokken als je een geleider aanraakt.
   a. waarom denk je dat dit juist bij droge lucht zo is?

   Als je in de auto zit merk je er niets van dat je elektrisch geladen wordt doordat je met je jas over de stoel schuift. Echter, als je uitstapt en de metalen deur vastpakt krijg je ineens een schok.
   b. leg uit waarom dit zo is.

   Er wordt wel gezegd dat een oplossing voor statische elektriciteit in de auto een metalen strip achteraan de auto is die over de weg sleept.
   c. leg uit waarom dit niet altijd helpt.
   d. Bedenk nu zelf een aanvullende oplossing zodat de strip wel werkt

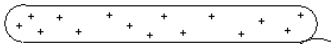
4. Je houdt een positief geladen staaf vlak bij de knop van een elektroscoop.

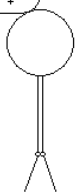




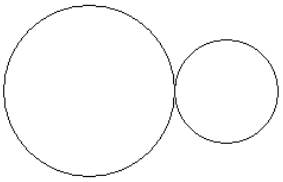
   a. teken in de tekening de ladingsverdeling in de kop van de elektroscoop
   b. wat voor soort lading krijgen de beide blaadjes? Teken deze naast de blaadjes.
   c. wat is de totale lading van de elektroscoop?
   d. wat gebeurt er met de blaadjes van de elektroscoop als we de staaf weer weghalen?

   Nu raken we de elektroscoop aan met de staaf.
   e. wat is nu de totale lading van de elektroscoop? Teken deze in de figuur.
   f. wat gebeurt er met de blaadjes van de elektroscoop als we de staaf weer weghalen?





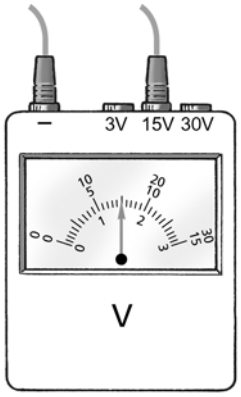
5. we hebben 2 metalen bolletjes. Het ene bolletje heeft een lading van +0,40 C en weegt 20 gram, het andere bolletje heeft een lading van – 0,10 C en weegt 10 gram. 1 Coulomb betekent ‘625 met 16 nullen’ aan elektronen.



   a. bereken hoeveel elektronen er tekort zijn in het zware bolletje.
   b. bereken hoeveel elektronen er teveel zijn in het lichte bolletje.

   als je de bolletjes tegen elkaar houdt verdelen de elektronen zich *gelijkmatig over de totale massa*. Nu halen we de bolletje weer uit elkaar.
   c. bereken de lading op de beide bolletjes.
   d. Welke van de 2 bolletjes bevat de meeste lading?
   e. Verklaar nu waarom je een geladen voorwerp altijd aan de aarde kunt ontladen

stroom en spanning



6. 1 ampère betekent dat er 1 Coulomb aan elektronen per seconde stromen. Bereken hoeveel elektronen er stromen per seconde bij 50 mA
7. Wat is gevaarlijker: 1 Ampère bij een spanning van 12 V of 1 Ampère bij een spanning van 230V ? Leg in één zin uit waarom.
8. bekijk de afbeelding hiernaast van een spanningsmeter (of Voltmeter)
   a. op welk bereik staat de spanningsmeter ingesteld?
   b. Lees de waarde van de spanning af
   c. waarom is het soms handig om een kleiner bereik te kunnen kiezen?

Weerstand

U = I · R (‘uier’)

9. a. noem 3 goede geleiders
   b. noem 3 goede isolatoren
   c. leg uit waarom gedestilleerd water (zuiver water) een isolator is
   d. leg uit waarom water beter geleidt als je er zout in oplost
10. weerstand is de mate van tegenwerking van de elektronen door een bepaalde stof. Welke stoffen hebben een hogere weerstand, geleiders of isolatoren?
11. we drukken weerstand ook wel in een getal uit. Dit getal krijg je door de spanning door de stroomsterkte te delen. *Voorbeeld:* spanning U = 12 V, stroomsterkte I is 0,5 A, de weerstand R is dan $\frac{U}{I} = \frac{12}{0,5} = 24\Omega$

    bereken nu zelf de weerstand in de volgende gevallen:
    a. U = 230 V, I = 8 A
    b. U = 24 V, I = 20 mA
    c. U = 24 V, I = 100 mA

Bereken de stroomsterkte I in de volgende gevallen:
d. R = 50 Ω, U = 24 V
e. R = 200 Ω, U = 24 V

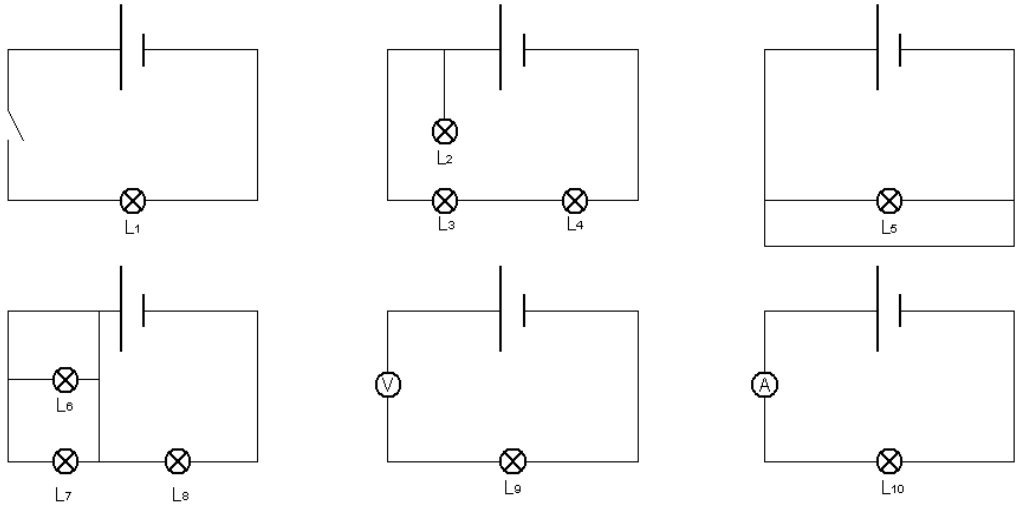
Bereken de spanning U in de volgende gevallen:
f. R = 100 Ω, I = 2,3 A
g. R = 1 kΩ, I = 50 mA

Stroomkringen en schakelschema's

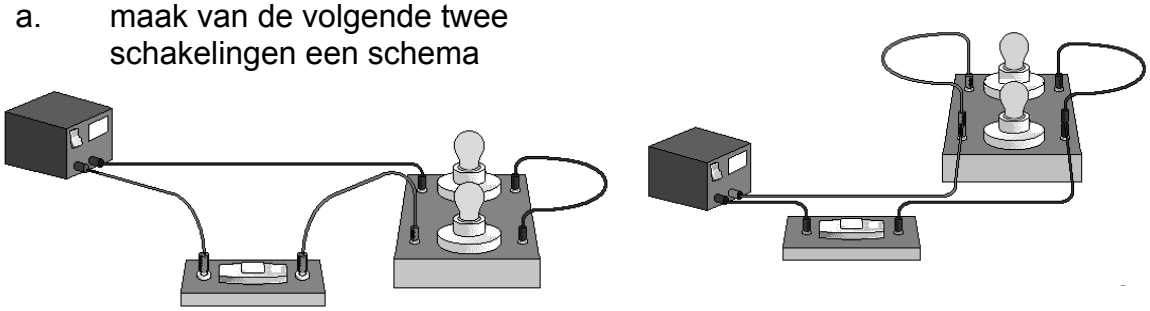
12. De spanning op een hoogspanningskabel die tussen van die hoogspanningsmasten hangt (zoals in de polder) bedraagt 380 kV. Toch kunnen vogels daar rustig op zitten. Leg uit hoe dat kan
13. in welke richting gaan de elektronen door een schakeling? van de + van de spanningsbron naar de – of andersom?
14. wat is de afgesproken stroomrichting? Waarom geeft dat geen problemen?
15. hoe stromen de elektronen bij een wisselspanning?
16. a. teken een schakelschema met een daarin een batterij en een lampje
    b. teken nu een voltmeter erin om de spanning *over* de batterij te meten
    c. teken nu een ampèremeter erin om de stroom *door* het lampje te meten
    d. waarom moet je een schakeling altijd met potlood te tekenen?

17. Je kunt bij een schakelschema de stroom altijd volgen door met je vinger vanaf de + pool van de spanningsbron de stroom te volgen naar de – pool. Als je rond kunt gaan loopt er stroom. Nog 2 dingen:
    - *De korte poot van de spanningsbron is altijd de –*
    - *De meeste stroom gaat de weg van de minste weerstand. Let dus op bij een kortsluiting*

    Ga na welke lampjes branden in de volgende situaties:



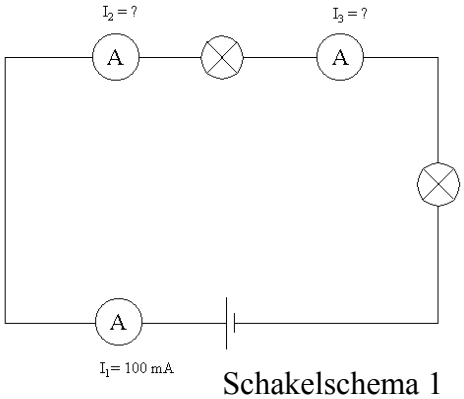
18. a. maak van de volgende twee schakelingen een schema



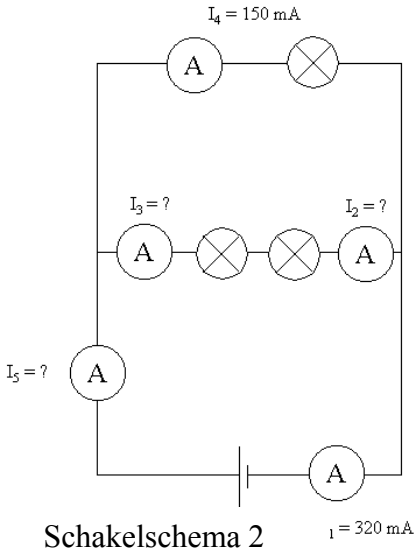
b. in welke schakeling zijn de lampjes in serie geschakeld? En in welke parallel?

19. Bekijk de volgende 2 uitspraken:
- door een serieschakeling loopt overal dezelfde stroom
- als de stroom ergens verdeeld wordt mag je de stroom door de parallelle takken bij elkaar optellen

Bekijk nu de volgende schakelschema's. Bij een paar stroomsterktemeters is de stroomsterkte gegeven. Stroomsterkte wordt afgekort met een I.



Schakelschema 1



Schakelschema 2

a. Schrijf de ontbrekende stroomsterktes (I_2 en I_3) op van schakelschema 1.
b. Schrijf de ontbrekende stroomsterktes (I_2, I_3 en I_5) op van schakelschema 2.

20. Een schakeling bestaat uit 5 lampjes, enkele snoeren en een batterij.
Als je lampje 1 losdraait, gaan lampje 2 en lampje 3 ook uit. Als je lampje 2 losdraait, gaan lampje 1 en lampje 3 ook uit. Als je lampje 3 losdraait, gaan lampje 1 en lampje 2 ook uit. Als je lampje 4 losdraait, gaat alleen lampje 4 uit. Als je lampje 5 losdraait, gaan alle lampjes uit.
Teken het schema van deze schakeling.

21. In een schakeling zitten de volgende onderdelen: drie lampjes P, Q, R; een spanningsbron, twee schakelaars en een stroommeter.
De lampjes P en Q zijn in serie geschakeld. Lampje R staat parallel met P en Q. Met één schakelaar kun je alleen lampje R aan en uit doen. Met de andere schakelaar kun je beide lampjes P en Q tegelijk aan en uit doen; lampje R blijft dan branden. Met de stroommeter meet je de stroom door lampje R.
Teken het schema van deze schakeling.

Veiligheid

22. a. wat gebeurt er in een apparaat bij kortsluiting?
b. Wat gebeurt er dan in de meterkast? Leg uit waarom
c. gaat overal in huis het licht uit?

23. a. wat gebeurt er in een apparaat bij overbelasting?
b. Wat gebeurt er dan in de meterkast? Leg uit waarom
c. gaat overal in huis het licht uit?

24. a. gaat bij overbelasting of bij kortsluiting de aardlekschakelaar uit?
zo niet, beschrijf een situatie waarin de aardlekschakelaar wel uitgaat
b. gaat in jouw situatie ook de zekering kapot? Leg uit waarom wel/niet

25. sommige apparaten hebben een platte stekker, andere een dikke stekker. Aan zo'n dikke stekker zit in het snoer een extra draad.
a. leg uit wat het verschil is tussen deze 2 stekkers
Erik denkt een handige jongen te zijn en repareert zelf de kapotte stekker van zijn waterkoker. Hij heeft nog een oude platte stekker en monteert deze aan de bruine en de blauwe draad van het snoer van de waterkoker.
b. leg uit waarom dit gevaarlijk is

Elektrische energie en elektrisch vermogen

$P = U \cdot I$ ('Pui') $E = P \cdot t$ ('Ept')

26. 1 J = 1 W · 1 s = 1 Ws. 3600000 J = 3600000Ws = 1000 Wh = 1kWh
Reken om:

a.	0,2 kWh = ...J	d.	5600 J = ...Wh
b.	0,2 kWh = ...kJ	e.	90 kJ = ...kWh
c.	180000 J = ...kWh	f.	1000 Wh = ... kJ

27. Een gloeilamp van 50 W brandt 4,5 uur. We gaan in deze invulopgave berekenen hoeveel energie dat heeft gekost in kWh.
a. welke gegevens zijn er gegeven in de opgave? Schrijf onderaan op in symbolen en eenheden, zoals bijvoorbeeld: t = 20 s

b. welk gegeven is gevraagd? Schrijf op met een vraagteken
c. Welke formule hebben we nodig met deze gegevens? Schrijf op
d. staan alle gegevens in de juiste eenheden? Reken ze alvast om naar de juiste eenheden.
e. vul de formule in en los op

a. gegevens: P = ____ (d.) = _____ kW
__= ____

b. Gevraagd: __= ?

c. Formule:

e. Invullen: ___ = ___ · ____ = _____ ____

maak nu de volgende opgaven op dezelfde manier:

28. een lamp verbruikt in 20 minuten 18 kJ aan energie. Bereken het vermogen van deze lamp

29 Door een lamp die aangesloten is op 230 V loopt een stroom van 650 mA
a. bereken het vermogen van deze lamp
b. bereken de weerstand van deze lamp

30. Een variabele spanningsbron levert 6,0 minuten een stroomsterkte van 0,40 A terwijl de spanning is ingesteld op 12 V
a. bereken het elektrisch vermogen dat de spanningsbron afgeeft
b. bereken de elektrische energie die de spanningsbron afgeeft in J

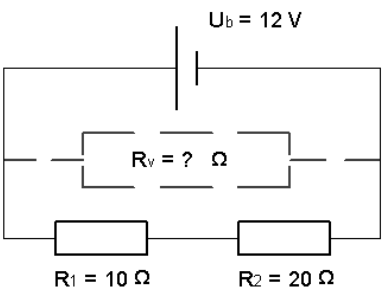
31. In 10 minuten wordt er in een elektrisch kacheltje 152 kJ aan elektrische energie omgezet in warmte. De stroomsterkte door het kacheltje is 2,3 A
a. bereken het vermogen van het kacheltje
b. bereken de spanning die over het kacheltje staat
c. als 1 kWh 0,15 euro kost, bereken dan hoeveel het kost om het kacheltje een hele nacht (= 8 uur) aan te laten staan.

32. Een spanningsbron levert 15 V. In 20 minuten wordt er 40 kJ aan elektrische energie geleverd aan een schakeling. Bereken de stroomsterkte in de schakeling.

Weerstand serie en parallel

Serie:		Parallel:	
	I overal gelijk		U overal gelijk
	U optellen		I optellen
	R optellen		$\frac{1}{R_v} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$

33. a. wat voor soort schakeling is hiernaast getekend als je de stippellijnen niet meerekent?



b. stel dat de spanning van de spanningsbron U_b 12 V is, waarom kun je dan niet zomaar de stroomsterkte I berekenen?

Je mag een groepje weerstanden vervangen door één enkele weerstand, deze noemen we de vervangingsweerstand R_v. In de tekening is dit de gestippelde weerstand. De andere 2 doen dan dus niet meer mee, die zijn immers 'vervangen'.

c. Bereken de vervangingsweerstand R_v
d. Bereken nu de stroomsterkte I door de schakeling.

34. bereken de vervangingsweerstand van een serieschakeling van 2 weerstanden van 20 Ω in serie geschakeld

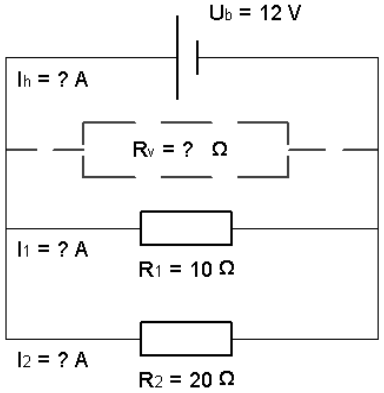
35. a. zoek op je rekenmachine de toets $\boxed{x^{-1}}$. Toets in: 2 $\boxed{x^{-1}}$. Noteer de uitkomst hier: ___ Toets in: 10 $\boxed{x^{-1}}$. Noteer de uitkomst hier:____ probeer nu zelf nog een paar getallen.
Wat doet deze knop?

Gebruik op je rekenmachine de toets $\boxed{x^{-1}}$ als volgt voor een parallelschakeling

$$R_v = R_1 \ \boxed{x^{-1}} \ \boxed{+} \ R_2 \ \boxed{x^{-1}} \ \boxed{=} \ \boxed{x^{-1}}$$

b. laat zien dat van een parallelschakeling van 2 weerstanden van 20 Ω de vervangingsweerstand R_v 10 Ω is.
c. vergelijk je antwoord met het antwoord bij opgave 34. Wat voor regels kun je hieruit afleiden voor twee gelijke weerstanden?

36. a. wat voor soort schakeling is hiernaast getekend als je de stippellijnen niet meerekent?



I_h betekent 'hoofdstroom'. We gaan I_h op 2 manieren berekenen:
b1. wat weet je van de spanning U in een parallelschakeling?
b2. bereken de deelstromen I_1 en I_2
b3. bereken nu de hoofdstroom I_h
c1. bereken de vervangingsweerstand R_v
c2. bereken mbv de vervangingsweerstand I_h

37. De beide lampjes van een fietsverlichting zijn parallel geschakeld. De dynamo geeft een wisselspanning van 6,0 Volt. Het voorlicht heeft een weerstand van 20 Ω. Het achterlicht heeft een weerstand van 120 Ω.
a. teken de schakeling
b. bereken de vervangingsweerstand van deze parallelschakeling

c1. Bereken de stroomsterkte door het voorlicht
c2. Bereken het vermogen van het voorlicht
d1. Bereken de stroomsterkte door het achterlicht
d2. Bereken het vermogen van het achterlicht
e. welk lampje brandt volgens jou het felst?
f1. Bereken de hoofdstroom I_h
f2. Bereken het vermogen dat de spanningsbron moet leveren.
f3 Vergelijk je antwoord met c2 en d2. wat valt je op?

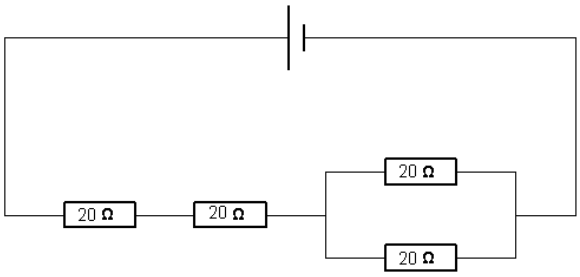
38. Jos koopt een kerstboomverlichting die uit 23 in serie geschakelde lampjes bestaat. Op elk lampje staat 10 V; 0,3 A. Als Jos het geheel aansluit op 230 Volt brandt elk lampje op de juiste spanning.
a. bereken de weerstand van één lampje
b. bereken de totale weerstand van alle lampjes samen als ze normaal branden
c. Controleer (met het antwoord van b) of de stroomsterkte door deze serieschakeling inderdaad 0,3 A is

Tijdens het branden gaat één van de lampjes kapot
d. wat zie je dan gebeuren?

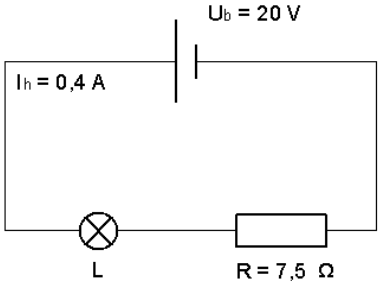
Jos vind het kapotte lampje en knipt het los. Daarna verbindt hij de losse draden weer met elkaar.
e. Is de stroomsterkte door de overgebleven lampje groter of kleiner dan 0,3 A? licht je antwoord toe

39. a. 3 weerstanden van 60 Ω, 140 Ω en 160 Ω worden parallel geschakeld. Bereken de vervangingsweerstand
b. een weerstand van 60 Ω, een van 40 Ω en een onbekende weerstand R worden parallel geschakeld. De vervangingsweerstand R_v = 15 Ω. Bereken de waarde van R

40. a. bereken de vervangingsweerstand van de getekende schakeling
b. wat is de grootste en wat is de kleinste vervangingsweerstand die je met vier weerstanden van 20 Ω kunt maken?
c. teken nog minstens twee combinaties die op weer een andere vervangingsweerstand uitkomen

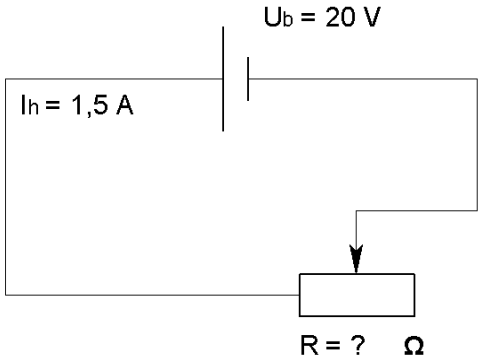


41. bereken voor de volgende schakeling:
a. de vervangingsweerstand
b. de weerstand van het lampje
c. de spanning over het lampje
d. het vermogen van het lampje
e. de spanning over de weerstand



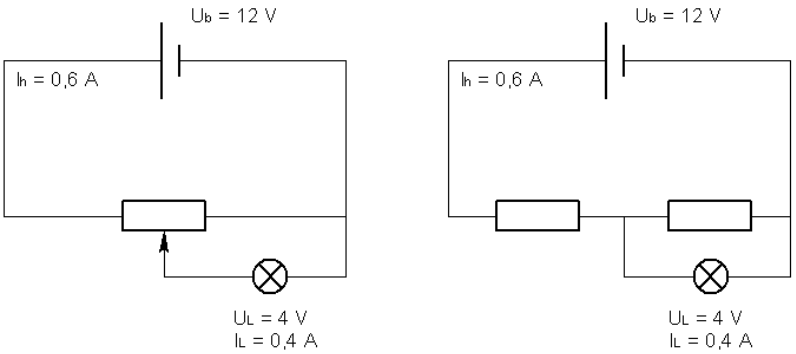
42. twee weerstanden en een lampje zijn parallel aangesloten op een spanningsbron. R_1 = 10 Ω, R_2 = 25 Ω. Op het lampje staat: 10 W, 5,0 V. Het lampje brandt op de juiste sterkte
   a. teken deze schakeling
   b. bereken de stroomsterkte door het lampje
   c. bereken de weerstand van het lampje
   d. bereken de deelstroom I_1 door R_1
   e. bereken de hoofdstroom
   f. bereken de vervangingsweerstand van de gehele schakeling

43. Een schuifweerstand is een weerstand waarvan je de waarde kunt instellen van 0 Ω tot een maximumwaarde.
Bekijk de volgende schakeling.
   a. bereken de grootte van de ingestelde weerstand
   b. de maximumwaarde van de schuifweerstand is 50 Ω. Welk percentage van de schuifweerstand is ingeschakeld?



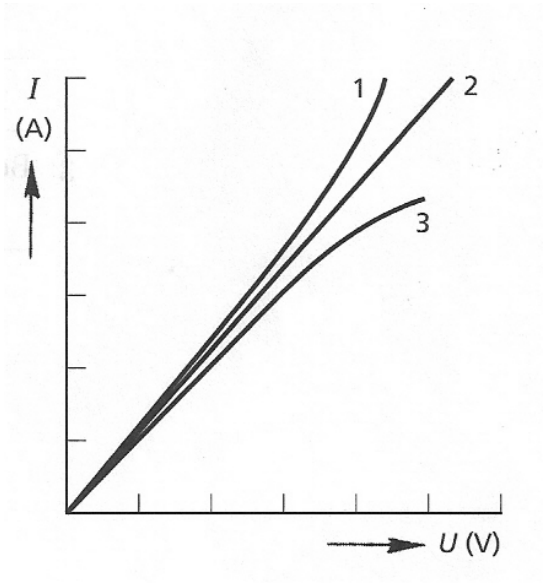
44. een schuifweerstand wordt vaak gebruikt om de spanning in te stellen voor bijvoorbeeld een lampje. Zo'n schakeling ziet er dan uit als de linker schakeling. Hij werkt echter hetzelfde als de rechterschakeling. Deze kun je echter niet verstellen. Je kunt er wel makkelijker mee rekenen.

De maximumwaarde van de schuifweerstand is 33,3 Ω



a. bereken de weerstand van het lampje
b. bereken de weerstand van het rechterdeel van de schuifweerstand
c. in welke stand is het lampje uit? dit noemen we 100 %
d. bereken welk percentage van de schuifweerstand is ingeschakeld

45. voor weerstand geldt de formule $R = \frac{U}{I}$. Als de weerstand van een onderdeel constant is dan zeggen we dat *de wet van Ohm* geldig is. Dit is echter niet altijd het geval. Dit kun je goed zien in een (I,U) diagram.



Weerstanden worden gemaakt van constantaandraad. Dit is een legering waarvan de weerstandswaarde constant is bij verschillende temperaturen.

a. waarom is dat handig in een elektronische schakeling?
b. welke van de lijnen 1, 2 of 3 hoort volgens jou bij de constantaandraad?

46. een NTC is een weerstand waarvan de weerstandswaarde *afneemt* als de temperatuur hoger wordt. NTC staat dan ook voor *Negatieve Temperatuur Coëfficiënt*

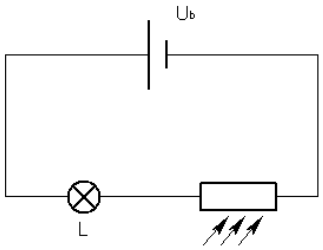
a. welke van de lijnen in de grafiek hoort bij de NTC? Leg uit
b. er bestaan ook PTC's . waar staan deze letters voor?
c. een gloeilamp is een voorbeeld van een PTC. Wat gebeurt er met de weerstand van een gloeilamp als de temperatuur hoger wordt?
d. Welke van de lijnen in de grafiek hoort bij een gloeilamp? Leg uit

47. naast temperatuurafhankelijke weerstanden is er ook bijvoorbeeld de LDR, oftewel *Light Depending Resistor.*

a. waar hangt bij dit onderdeel de weerstandswaarde van af?

de weerstandswaarde van dit onderdeel neemt *af* bij een toenemende lichtsterkte.

b. bekijk de volgend schakeling met een LDR en een lampje.
Je wilt dat de lamp aangaat als het donker wordt. Zou je dan deze schakeling kunnen gebruiken? Leg uit waarom wel / niet



c. ontwerp nu een schakeling met een weerstand, een LDR, een lampje en een batterij waarbij de lamp aangaat als het donker wordt. Hint: Denk aan opgave 44

Weerstand van een draad

48. stel: een koperen draad met een lengte van 1 m en een doorsnede van 1 mm^2 heeft een weerstand van 60 Ω.

a. nu hebben we een koperen draad van 2 m en 1 mm^2 doorsnede. bereken de weerstand van deze draad (denk aan opgave 35c)

b. nu hebben we een koperen draad van 1m en 2 mm^2 doorsnede bereken de weerstand van deze draad (denk weer aan opgave 35c)

49. onthoud: draad 2x zo lang, R 2x zo groot
draad 2x zo dik, R 2x zo klein

vul in:

Lengte	Doorsnede	weerstand	l (m)	A (mm^2)	R (Ω)
1 m	1 mm^2	0,10 Ω	500	0,25	32
600 m	1 mm^2	Ω	500	1	
600 m	5 mm^2	Ω	1	1	
1 m	1 mm^2	0,48 Ω	1	1	0,016
20 m	1 mm^2	Ω	1	4	
20 m	0,25 mm^2	Ω		4	4
100 m	2 mm^2	1,4 Ω	1	1	0,016
1 m	2 mm^2	Ω			
1 m	1 mm^2	Ω	5	0,25	

50. welke draad heeft de grootste weerstand (van dezelfde stof gemaakt):
I : l = 500 m, A = 0,4 mm^2
II : l = 600 m, A = 0,5 mm^2

51. **De soortelijke weerstand** ρ is een stofeigenschap van geleiders. De eenheid is Ωm (dit staat voor *ohm · meter*). Je kunt deze opzoeken in een tabellenboek.

De formule voor de weerstand van een draad is: $R \cdot A = \rho \cdot l$.
Je kunt deze onthouden met het woordje **'Raarhol'** *('rho' = ρ)*

Uit deze formule kun je elke vorm die je nodig hebt halen. Kijk maar:

A is gevraagd: R · A = ρ · l. => $A = \frac{\rho \cdot l}{R}$

l is gevraagd: R · A = ρ · l. => $l = \frac{R \cdot A}{\rho}$ *nu jij:*

R is gevraagd: R · A = ρ · l. => $R = \frac{\rho \cdot __}{__}$

ρ is gevraagd: R · A = ρ · l. => $\rho = \frac{__ \cdot __}{__}$

52. de soortelijke weerstand van koper ρ_{koper} = 0,017 · 10^{-6} Ωm. Hoe toets je dat in op je rekenmachine? Gebruik de knop Exp of EE.
Toets in: 0,017 Exp (-) 6. De knop (-) is *niet* de normale – op je rekenmachine.
Leer jezelf aan deze knoppen te gebruiken en *niet* het dakje

53. een stuk constantaandraad heeft een lengte van 400 cm. en een doorsnede van 1 mm^2. De soortelijke weerstand ρ van constantaandraad is 0,45 · 10^{-6} Ωm. Wat is de weerstand R van dit stuk draad? Gebruik de invulhulp hieronder

gegevens: l = _____ cm = _____ m
A = _____ mm^2 = _____m^2 (dit kan snel door er *·10^{-6}* achter te zetten)
__ = _____ Ωm
gevraagd: __ = ?

formule: 'raarhol', dus __ · __ = __ · __. zet R voorop, dan wordt het $R = \frac{\rho \cdot __}{__}$

invullen: $R = \frac{__ \cdot __}{__}$ = _____ Ω

doe nu de volgende opgaven op dezelfde manier:

54. Bereken de weerstand van een zilverdraad die 15 m lang is en een doorsnede heeft van 0,1 mm^2. ρ_{zilver} = 0,016 · 10^{-6} Ωm.

55. Bereken de doorsnede van een ijzerdraad met een weerstand van 1,2 Ω die 15 m lang is. ρ_{ijzer} = 0,10 · 10^{-6} Ωm.

56. Een draad met een doorsnede van 0,04 mm^2 en 20 m lengte heeft een weerstand van 13,5 Ω. Bereken de soortelijke weerstand van het materiaal.

57. Bereken de lengte van een koperdraad die, aangesloten op een spanning van 24 V een stroomsterkte te verduren krijgt van 0,4 A. de doorsnede van de draad is $1{,}0 \cdot 10^{-9}$ m^2. ρ_{koper} =$0{,}017 \cdot 10^{-6}$ Ωm (*dus* $17 \cdot 10^{-9}$ *Ωm, ga dit na*)

58. soms is in plaats van de doorsnede A van een draad de *diameter d* gegeven. Je kunt dat zien in de opgave als er staat 'mm' in plaats van 'mm^2'. Je moet dan eerst de doorsnede uitrekenen met de formule: $A = \frac{1}{4}\pi d^2$

Vraag: wat is de *doorsnede A* bij een draad met een *diameter d* van 0,5 mm ?
Gegeven: d = 0,5 mm
Gevraagd: A = ?
Formule: $A = \frac{1}{4}\pi d^2$
Invullen: A = $0{,}25 \cdot 3{,}14 \cdot 0{,}5^2$ = _____mm^2

59. Een ijzeren draad met een *diameter* van 0,3 mm heeft een weerstand van 1,2 Ω. ρ_{ijzer} = $0{,}10 \cdot 10^{-6}$ Ωm. Bereken de lengte van de draad.

60. andersom kan natuurlijk ook. Stel de doorsnede van een draad is 2,0 mm^2, wat is dan de diameter?

61. Een stukje constantaandraad heeft een lengte van 2,0 meter. De weerstand is 0,64 Ω en de soortelijke weerstand van constantaandraad bedraagt $0{,}45 \cdot 10^{-6}$ Ωm. Bereken de diameter van het stukje constantaandraad.

Practicum lading

Je doet dit practicum met 2 of 3 leerlingen.

Benodigdheden:

- 1 draaivoet
- 2x pvc buisje (wit of geel, maakt niet uit)
- 2x plexiglas lat of staafje (doorzichtig)
- 1x metalen liniaal
- 1x zeemlap
- 1x elektroscoop

Uitvoering:

1. wrijf met de zeemlap een pvc-buisje tot hij knettert. Houdt hem nu vlakbij de elektroscoop. Noteer je antwoord in tabel 1
2. wrijf hem nu opnieuw en leg hem op de draaivoet. Wrijf een tweede pvc-buisje en houdt het bij een van de uiteinden van het buisje op de draaivoet. Trekken ze elkaar aan of stoten ze elkaar af? Noteer in tabel 2
3. herhaal stappen 1 en 2 voor alle mogelijke combinaties van materialen en noteer in de tabellen

	wel uitslag	geen uitslag
pvc		
plexiglas		
metalen liniaal		

Tabel 1

	pvc	plexiglas	metalen liniaal
pvc	aantrekken / afstoten	xxxxxxxxxxxxx	xxxxxxxxxxx
plexiglas	aantrekken / afstoten	aantrekken / afstoten	xxxxxxxxxxx
metalen liniaal	aantrekken / afstoten	aantrekken / afstoten	?????????

Tabel 2

4. probeer nu eens een zo groot mogelijke blijvende uitslag op de elektroscoop te krijgen met een gewreven pvc-buis. Je krijgt de lading er weer af door de knop aan te raken met je vinger

vragen

1. hoe krijg je een blijvende uitslag op de elektroscoop met een pvc-buisje? En hoe een zo groot mogelijke? Leg uit
   _____
   _____
   _____
2. zijn de ladingen van gewreven pvc en plexiglas gelijk of tegengesteld? Leg uit
   _____
   _____
3. wat is de lading van de gewreven liniaal? _____
4. vul in de tabel in wat er bij de vraagtekens hoort te staan
5. leg uit waarom de liniaal wordt aangetrokken in het proefje.
   _____
   _____
   _____
6. zou een gewreven pvc-buisje een ongewreven pvc-buisje aantrekken? Leg uit
   _____
   _____
   _____
   _____

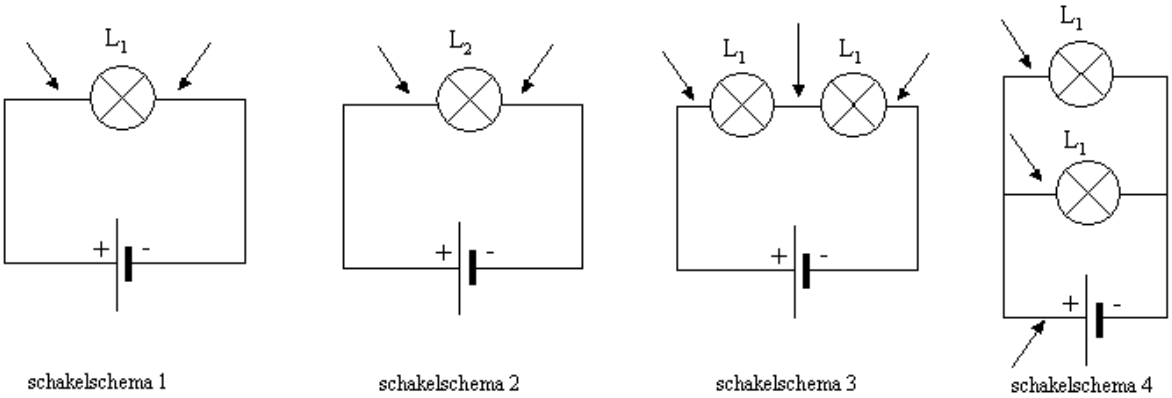
Practicum stroomsterkte meten (uit klas 1, gedaan in klas 2)

In de volgende proeven ga je kijken hoe groot de stroomsterkte is op verschillende plekken in verschillende schakelingen.

ACHTERGROND:
Als je de stroomsterkte wilt weten op een bepaalde plek, moet je de stroommeter opnemen in de schakeling. Dit doe je door hem in serie te plaatsen.

BENODIGDHEDEN:
- spanningskast
- 2 gelijke lampjes (L_1)
- 1 ander lampje (L_2)
- 5 snoertjes
- stroommeter

OPSTELLING:



OPDRACHTEN:
Zet de spanningskast op 6 Volt en laat hem zo staan tijdens het hele practicum

1 Neem de bovenstaande schema's over in je schrift/map. Zorg voor voldoende ruimte bij de pijltjes om gegevens te noteren!
2. - Maak de schakeling van schema 1.
   - Meet de stroomsterkte op de plek van de pijltjes en schrijf in je schrift de waarden erbij.
3 Herhaal opdracht 2 met de andere schema's. Let er op dat je alleen bij schema 2 een ander lampje gebruikt. Schrijf telkens de waarden in je schrift bij de pijltjes.

Ga verder op de volgende bladzijde…

CONCLUSIES:

1. Kijk naar de waarden bij de pijlen van schema 1 en trek een conclusie.
2. Vergelijk de waarden bij de schema's van 1 en 2 en trek een conclusie.
3. Kijk naar de waarden bij de pijlen van schema 3 en trek een conclusie.
4. Vergelijk de waarden bij de schema's van 1 en 3 en trek een conclusie.
5. Kijk bij schema 4 naar de waarden van de lampjes en de waarde direct na de bron en trek een conclusie.
6. Vergelijk de waarden bij de schema's van 1 en 4 en trek een conclusie.

EXTRA OPDRACHT:

1. Voorspel wat de stroomsterkte zal zijn als je een parallelschakeling maakt met L_1 en L_2. Controleer je voorspelling door metingen te doen. Schrijf de resultaten op zoals in de rest van het practicum.
2. Doe hetzelfde als in de extra opdracht 1, maar dan met L_1 en L_2 in serie.

Practicum weerstanden (gedaan met klas g3 voor maken van verslag)

Benodigdheden:

- 1 doos met schakelmateriaal
- een voedingskastje
- een ampèremeter
- een voltmeter
- 6 draden

1a. het verband tussen de stroom en de spanning door een weerstand

- Sluit het voedingskastje aan op het stopcontact. Zet hem aan, draai aan de knop en zet daarmee de spanning op 0V.
- Sluit nu de weerstand van 50 Ω aan op het voedingskastje
- Sluit nu de ampèremeter in serie aan met de weerstand. Neem in eerste instantie het hoogste bereik.
- Sluit nu de voltmeter parallel aan met de weerstand. Neem ook hier in eerste instantie het hoogste bereik.

Test nu eerst je schakeling. Draai de spanning langzaam omhoog tot 6 V. Slaan de meters uit dan is je schakeling goed. Wil de wijzer naar links (goed kijken) dan heb je deze meter verkeerdom aangesloten. Draai de spanning weer naar 0 V

- Maak op een blaadje een tabel met 2 kolommen (U en I) en 12 rijen.
- Verhoog nu de spanning in stapjes van 0,5 V tot 6 V. Noteer bij elke spanning in de tabel de stroomsterkte

1b. het verband tussen de stroom en de spanning door een lampje

- Vervang in de schakeling van opdracht 1a de weerstand door een lampje.
- Maak op je blaadje een tweede tabel met 2 kolommen (U en I) en 12 rijen.
- Verhoog nu wederom de spanning in stapjes van 0,5 V tot 6 V. Noteer bij elke spanning in de tabel de stroomsterkte

2a. weerstanden in een serieschakeling.

- Vervang in de schakeling het lampje door 2 weerstanden in serie. Neem bijvoorbeeld 50 Ω en 100 Ω.
- Zet het voedingskastje op 6V en meet de spanning en de stroomsterkte.
- Haal nu de voltmeter los en meet de spanning over de afzonderlijke weerstanden

2b. weerstanden in een parallelschakeling.

- Haal de schakeling uit elkaar en maak een parallelschakeling van 2 weerstanden. Neem dezelfde 2 weerstanden als bij opgaven 2a.
- Zet het voedingskastje op 6V.
- Meet nu de spanning over de afzonderlijke weerstanden
- Meet de stroomsterkte door de afzonderlijke weerstanden. Sluit daartoe de ampèremeter in serie aan met de weerstand waardoor je de stroom wilt meten.
- Meet ook de hoofdstroom. Sluit de ampèremeter daarvoor aan in serie met de hele schakeling

Theorievragen hoofdstuk 3 Elektriciteit (van collega Meeuwissen)

3.1 Elektriciteit om je heen

1. a. Noem twee elektrische apparaten die dagelijks om je heen ziet.
   b. Noem twee elektrische apparaten die niet dagelijks om je heen ziet.
2. Noem twee elektrische verschijnselen in de natuur.
3. Noem een voorbeeld van een elektrisch signaal in je lichaam.
4. Elektrische apparaten kunnen voor drie verschillende doelen worden ingezet.
   a. Welke?
   b. Noem van elk doel een voorbeeld.
5. Wanneer wordt een apparaat elektronisch genoemd?
6. Wat bedoelen we met elektriciteit?

3.2 Lading

7. Noem drie voorbeelden waarin sprake is van elektrische lading.
8. Er zijn twee soorten lading.
   a. Welke?
   b. Wat doen twee dezelfde soorten lading met elkaar?
   c. Geef een voorbeeld waarin je kunt zien wat twee dezelfde soorten lading met elkaar doen.
   d. Wat doen twee verschillende soorten lading met elkaar?
   e. Geef een voorbeeld waarin je kunt zien wat twee verschillende soorten lading met elkaar doen.
9. Wanneer spreek je van een neutrale lading?
10. Wat weet je over de hoeveelheid positieve en negatieve lading in een neutraal voorwerp?
11. Hoe noemen we de negatief geladen deeltjes die in elke stof voorkomen?
12. a. Leg uit hoe vanuit een neutraal geladen voorwerp een positief geladen voorwerp ontstaat.
    b. Leg uit hoe vanuit een neutraal geladen voorwerp een negatief geladen voorwerp ontstaat.
13. a. Wanneer spreken we van een geladen voorwerp?
    b. Wanneer spreken we van een positief geladen voorwerp?
    c. Wanneer spreken we van een negatief geladen voorwerp?
14. Wat is de eenheid van lading?

3.3 Stroom en spanning

15. Wat wordt er bedoelt met elektrische stroom?
16. Bij geladen voorwerpen spreken we over spanning. Op welk principe berust die spanning?
17. Wat is de eenheid van elektrische spanning?
18. Hoe groot is de spanning tussen de aansluitpunten van een stopcontact?

3.4 Spanningsbronnen en stroomkringen

19. Waarom is er in een schakeling een spanningsbron nodig?
20. Wanneer is er sprake van een gesloten stroomkring?
21. a. Wat weet je van de elektronen in een isolator?
    b. Noem vier voorbeelden van isolatoren.
    c. Kan in een isolator lading (en dus stroom) lopen?

22. a. Wat weet je van de elektronen in een geleider?
    b. Noem vier voorbeelden van geleiders.
    c. Kan in een geleider lading (en dus stroom) lopen?
23. Waaruit is een stroomkring opgebouwd?
24. Geef vier voorbeelden van spanningsbronnen.
25. Wat speelt er zich in een batterij af, waardoor de batterij als spanningsbron kan werken?
26. Hoe kan het dat je een oplaadbare batterij opnieuw kan opladen?
27. a. Wat doet een zonnecel?
    b. Wat is een zonnepaneel?
28. Hoe wordt in een (fiets)dynamo spanning opgewekt?
29. Met wat voor een apparaat wordt er in een elektriciteitscentrale elektriciteit opgewekt?
30. a. Wat wordt er bedoeld met gelijkspanning?
    b. Noem twee voorbeelden van gelijkspanningsbronnen.
31. a. Wat wordt er bedoeld met wisselspanning?
    b. Als je bij het bij wisselspanning hebt over de frequentie, wat betekent dat dan?
    c. Hoe groot is de frequentie van de wisselspanning op een stopcontact.

3.5 Schakelschema's

32. Waarom gebruiken we schakelschema's in plaats van een foto of een tekening?
33. Teken het symbool voor:
    a. batterij
    b. een open schakelaar en een dichte schakelaar
    c. stroommeter
    d. motor
    e. klein lampje
    f. grote lamp
    g. spanningsmeter
    h. (wisselspanning) generator
34. Teken een schakelschema met een batterij, twee schakelaars en twee lampjes.
35. Met welk apparaat meet je de spanning tussen twee punten? Geef beide namen.
36. Wat wordt er bedoeld met het bereik van een meter?
37. Teken een schakelschema met een batterij, een lampje en een meter die spanning meet over het lampje.
38. Met welk apparaat meet je de stroomsterkte? Geef beide namen.
39. Wat is de eenheid van stroom?
40. Als een stroommeter aangeeft dat er een stroom loopt van 1A, wat betekent dat?
41. Teken een schakelschema met een batterij, een lampje en een stroommeter.

3.6 Elektrische energie en vermogen

42. In huis wordt elektrische energie door apparaten omgezet naar een andere soort energie. Geef drie voorbeelden van apparaten die de elektrische energie omzetten, telkens naar een andere soort energie.
43. Wat wordt er bedoeld met vermogen?
44. In welke eenheid wordt het vermogen uitgedrukt? Geef twee mogelijkheden.
45. Wat betekent het als een apparaat een vermogen heeft van 80 W?

46. Er zijn twee eenheden waarin we elektrische energie uitdrukken. Welke twee?
47. 1 kWh komt overeen met ….. ?
48. Noem een ander woord voor energiemeter.
49. Wat weet je van de stroomsterkte door een serieschakeling?
50. Als in een serieschakeling één apparaat stuk gaat, wat gebeurt er dan met de andere apparaten in de schakeling?
51. Geef een voorbeeld van een serieschakeling.
52. De meeste apparaten zijn parallel geschakeld, wat betekent dat?
53. Wat is het voordeel van een parallelschakeling?
54. a. Teken een schakelschema van een serieschakeling met 1 batterij en 2 lampjes.
    b. Teken een schakelschema van een parallelschakeling met 1 batterij en 2 lampjes.

3.6 Veiligheid

55. Waarvoor dient een zekering?
56. a. Welke twee soorten zekeringen zijn er?
    b. Beschrijf kort hoe beide soorten zekeringen werken.
57. a. Wat is overbelasting?
    b. Wat is het gevaar van overbelasting?
    c. Welk onderdeel in de meterkast treedt in werking bij overbelasting?
58. a. Leg uit wat bedoeld wordt met een groep.
    b. Wat is het voordeel van meerdere groepen?
59. a. Wat is kortsluiting?
    b. Hoe ontstaat kortsluiting?
    c. Welk onderdeel in de meterkast treedt in werking bij kortsluiting?
60. In een huisinstallatie hebben de draden een eigen kleur. Deze kleur is afhankelijk van de functie van de draad. Schrijf de vier kleuren van de draden op en schrijf waarvoor de draden worden gebruikt.
61. Het kan gevaarlijk zijn als je elektrische stroom door je lichaam krijgt, afhankelijk van de hoeveelheid.
    a. Wat gebeurt er in je lichaam als je een stroomsterkte van 0,02 A door je lichaam krijgt?
    b. Vanaf wanneer in de stroomsterkte meestal dodelijk?
    c. Leg uit waarom een zekering geen goede beveiliging om tegen stroom door je lichaam.
62. a. In de huisinstallatie zijn er twee onderdelen die helpen voorkomen dat er stroom door je lichaam kan stromen. Welke twee zijn dat?
    b. Leg uit hoe de twee onderdelen werken.
63. a. Wat is de functie van de aarddraad?
    b. Wat is een randaarde en waarmee is deze verbonden?
64. Ondanks alle beveiliging kan het nog steeds mis gaan. In welke situatie is dat?
    a. Sommige apparaten zijn beveiligd met een dubbele isolatie, wat houdt dat in?
    b. Welk symbool wordt gebruikt om te laten zien dat een apparaat voorzien is van een dubbele isolatie?
    c. Geef een voorbeeld van een apparaat met dubbele isolatie en leg uit waarom juist dit apparaat een dubbele isolatie heeft in plaats van een andere beveiliging.

Uitwerkingen opgaven elektriciteit

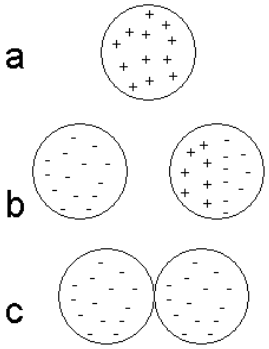
Lading

1. er springen elektronen over van de lap naar het voorwerp.

2a. er zijn wel minnetjes, maar we tekenen alleen plusjes (voor de duidelijkheid)

b. de negatieve lading in het linkerbolletje stoot de elektronen in het rechter bolletje van zich af, deze trekken dus naar rechts, zodat er een positieve lading overblijft aan de linkerkant. Dit noemen we influentie

c. nu kunnen de elektronen overspringen van het geladen bolletje naar het neutrale bolletje. De elektronen verdelen zich over beide bolletjes, waardoor beide bolletjes negatief worden. Het linker bolletje is wel *minder* negatief als het ervoor was. Dit laatste hoef je niet aan te geven in de tekening.



3a. lucht is een goede isolator, water (met opgeloste zouten) een goede geleider. Vochtige lucht geleid dus beter, dus kan een geladen voorwerp makkelijker ontladen via de lucht.

b. de autostoel is een goede isolator. De lading die je onderweg opbouwt door te wiebelen in de stoel kan dus niet weg. Aan de metalen buitenkant van de auto kun je je vervolgens juist heel snel ontladen en krijg je een schok.

c. deze strip helpt alleen als normaal door het rijden de metalen buitenkant van de auto opgeladen wordt. Voor de lading van jezelf zoals in vraag b. beschreven maakt het niets uit.

d. enige oplossingen:
- een metalen stuur (of van plastic met een geleidende draad erdoorheen geweven)
- een autogordel van geleidend materiaal
- een metalen armbandje met een draad die je vastmaakt aan de metalen binnenkant van de auto

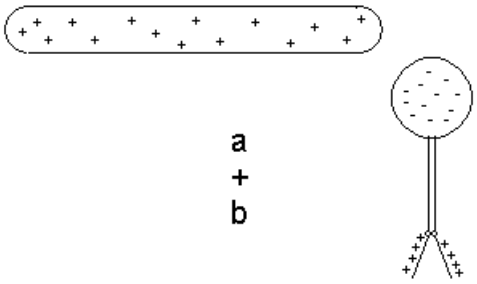
4ab. Doordat de hele elektroscoop van geleidend materiaal is gemaakt kunnen de elektronen uit de blaadjes naar boven trekken. De kop wordt negatief geladen en de blaadjes positief. De positief geladen blaadjes stoten elkaar af en er is een uitslag te zien op de elektroscoop

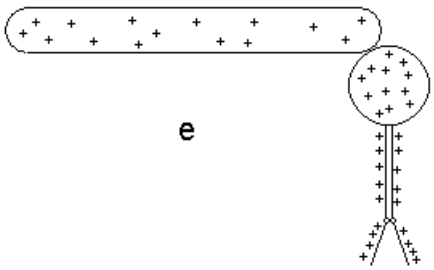
c. neutraal

d. de elektronen verdelen zich dan weer normaal, dus de blaadjes gaan door de zwaartekracht weer normaal naar beneden hangen

e. er springen elektronen over van de elektroscoop naar de staaf, dus zal de elektroscoop hierdoor positief geladen worden

f. de elektroscoop blijft positief geladen. De blaadjes zullen elkaar dus blijven afstoten, ook als de staaf weer weg wordt gehaald.





5a. 0,40 · 625 = 250, dus ‘250 met 16 nullen’. Je mag ook 250 · 10^{16} of 2,5 ·10^{18} opschrijven
b. 0,10 · 625 = 62,5, dus ‘625 met 15 nullen’. Ook 625 · 10^{15} of 6,25 ·10^{17} is goed
c. De totale lading van beide bolletjes samen wordt + 0,40 – 0,10 = +0,30 C
De totale massa van beide bolletjes is 20 gram + 10 gram = 30 gram
De lading verdeelt zich gelijkmatig over de massa, dus
+ 0,30 C over 30 gram = +0,10 C per 10 gram
Het grote bolletje bevat dus +0,20 C en het kleine bolletje +0,10 C
d. het grootste voorwerp krijgt de meeste lading wanneer 2 geleidende voorwerpen met een ladingsverschil elkaar aanraken (zie vraag c). De aarde is zo ontzettend veel groter dan een mens dat bij een eerlijke verdeling van de lading over de aarde en de mens praktisch alle lading naar de aarde zal gaan.

Stroom en spanning

6. 50 mA betekent 50 milliAmpere, dat is dus 0,050 A (50 mm is 0,050 m). 0,050 · 625 = 31,25, dus 31,25 met 16 nullen’ oftewel 3125 met 14 nullen aan elektronen.
3125 · 10^{14}, 31,25 · 10^{16} of 3,125 · 10^{17} mogen ook als antwoord.
7. er stromen evenveel elektronen, maar ze staan onder een ‘hogere druk’ bij 230 V (ze bevatten meer energie) dus is dat gevaarlijker.
8a. 0-15 V
b. 7,5 V (de middelste schaalverdeling)
c. Dan kun je kleinere spanningen nauwkeuriger aflezen

Weerstand

9a. metalen (bijv koper, ijzer, zilver), koolstof, water met opgeloste zouten
b. plastic, hout, steen, gedestilleerd water, lucht
c. watermoleculen bevatten zelf geen vrije elektronen.
d. Zouten bestaan uit positief en negatief geladen deeltjes (ionen) die vrij door de oplossing kunnen bewegen. Deze zorgen voor de geleiding
10. hoe meer een stof de elektronen tegenwerkt, hoe hoger de weerstand. Isolatoren hebben dus een hoge weerstand.
11 $U = I \cdot R$, dus $R = \frac{U}{I}$. Vergelijk: 6 = 3 · 2, dus 2 = $\frac{6}{3}$
a. R = $\frac{230}{8} = 28{,}75\ \Omega$ b. R = $\frac{24}{0{,}020} = 1200\ \Omega$ c. R = $\frac{24}{0{,}1} = 240\ \Omega$
$U = I \cdot R$, dus $I = \frac{U}{R}$. Vergelijk: 6 = 3 · 2, dus 3 = $\frac{6}{2}$
d. I = $\frac{24}{50} = 0{,}48$ A e. I = $\frac{24}{200} = 0{,}012$ A = 12 mA f. U = 2,3 · 100 = 230 V
g. 1 kΩ = 1000 Ω (1 kg = 1000g), 50 mA = 0,050 A. U = 1000 · 0,050 = 50 Ω

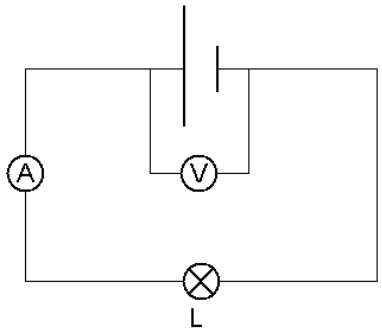
stroomkringen en schakelschema’s

12. de vogel maakt alleen contact met 1 draad en niet met twee draden. Er is dus geen gesloten stroomkring
13. bij de – pool is er een overschot aan elektronen. De elektronen gaan dus van – naar +
14. voordat de geleerden erachter kwamen dat elektronen negatief geladen waren is afgesproken dat de stroom van + naar – ging. Er is besloten om dat zo te houden om

misverstanden te voorkomen. Het geeft geen problemen, zolang je maar in de hele schakeling verkeerdom denkt (denk aan het rekenen met negatieve getallen bij wiskunde, als je alleen negatieve getallen hebt zijn de uitkomsten hetzelfde als bij positieve getallen, zonder – dan natuurlijk).

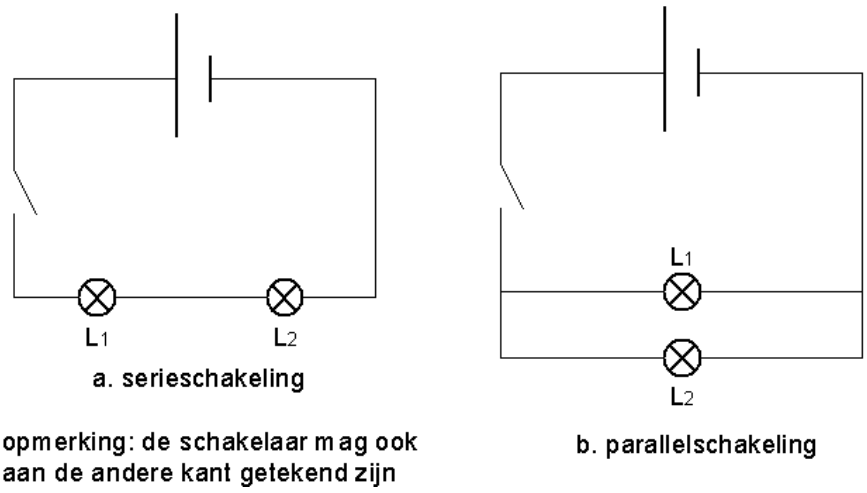
15. bij een wisselspanning wisselen de + en de – pool telkens om. De elektronen bewegen daardoor heen en weer door de schakeling.

16



17. L_1 *wel,* als je de schakelaar dicht doet. Wat ook goed is is het volgende:
L_1 *niet,* want de schakelaar staat open. Alleen 'wel' of 'niet' is dus niet voldoende!
L_2 *niet,* want het lampje is maar aan een kant aangesloten
L_3 en L_4 *wel,* want ze zitten in een gesloten stroomkring
L_5 *niet,* want L_5 is kortgesloten dus gaan (bijna) alle elektronen door het draadje en niet door de lamp
L_6 en L_7 *niet,* want ook deze zijn kortgesloten.
L_8 *wel,* want hij zit in een gesloten stroomkring
L_9 *niet,* want de voltmeter heeft een hele hoge weerstand en houdt daarom bijna alle elektronen tegen
L_{10} *wel,* want de ampèremeter heeft een hele lage weerstand en daar kunnen de elektronen dus makkelijk door

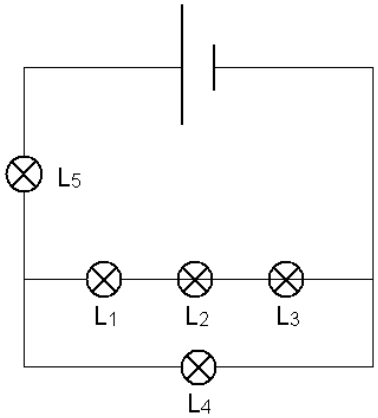
18.

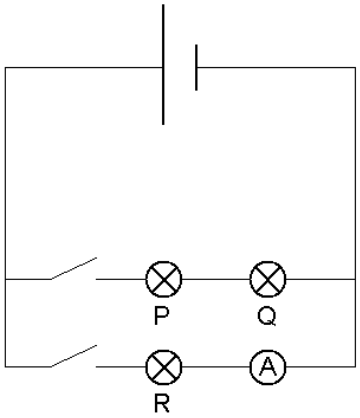


19a. de elektronen kunnen nergens anders heen, dus I_2 en I_3 zijn ook 100 mA

b. wat er terugkomt gaat komt er ook uit, dus I_5 is 320 mA. De elektronen kunnen zich later verdelen over 2 'routes'. I_3 en I_4 zijn daarom 320 – 150 = 170mA

20 en 21





Veiligheid

22a. dan kunnen binnenin het apparaat de elektronen van de fasedraad naar de nuldraad stromen, wat niet de bedoeling is. Het apparaat is dan dus stukgegaan (vaak is er iets doorgebrand)
b. door een kortsluiting is de weerstand heel laag geworden. De stroomsterkte wordt dan heel hoog, dus zal de zekering stukgaan.
c. nee, want alleen de zekering van de groep van het kapotte apparaat gaat stuk

23a. in het apparaat gaat alles normaal, het is dus niet stuk
b. doordat er teveel apparaten parallel geschakeld zijn op dezelfde groep wordt de totale stroomsterkte te hoog (kijk naar opg 19b) en gaat de zekering stuk.
c. Nee, zie 22c

24a. nee. De aardlekschakelaar vergelijkt de in en uitgaande stroom met elkaar. Als er elektronen missen zijn die weggelekt naar de aarde en gaat de aardlekschakelaar uit. Bij zowel kortsluiting als overbelasting lekken er in principe geen elektronen weg.
Als een kapot apparaat nu contact maakt met de aarde (bijvoorbeeld doordat jij het aanraakt) gaat de aardlekschakelaar wel uit.
b. dat hangt er vanaf hoeveel stroom er weglekt naar de aarde. Is het maar een klein stroompje dan zal de zekering niet stukgaan.
25a. de dikke stekker heeft randaarde, de dunne niet
b. als er nu iets mis gaat in de waterkoker kan de stroom niet weg naar de randaarde, waardoor de aardlekschakelaar dus niet uitgaat. Die gaat dan pas uit als jij de waterkoker aanraakt en de stroom via jou weglekt naar de aarde..

elektrische energie en elektrisch vermogen

26a.	720000 J	d.	1,56 Wh
b.	720 kJ	e.	0,025 kWh
c.	0,05 kWh	f.	3600 kJ

27 *a.* *gegevens:* P = __50 W__ (d.) = __0,050___ kW
_t_= __4,5 uur__
b. *Gevraagd:* _E_= ?

c. *Formule:* E = P · t
e. *Invullen:* _E__ = _0,050__ · __4,5__ = __0,225___ _kWh___

28. *gegevens:* E = 18 kJ = 18000 J
t = 20 min = 20 · 60 = 1200 s
gevraagd: P = ?
formule: E = P · t dus $P = \frac{E}{t}$
invullen: P = $\frac{18000}{1200}$ = 15 W

29a. P = U · I = 230 · 0,65 = 149,5 W
b. R = $\frac{U}{I} = \frac{230}{0,65}$ = 354 Ω

30a. *gegevens:* t = 6 min = 360 s
I = 0,40 A
U = 12 V
gevraagd: E = ?
formule: P = U · I
invullen: P = 12 · 0,40 = 4,8 W
b. *gevraagd:* E = ?
formule: E = P · t
invullen: E = 4,8 · 360 = 1728 J

31 a. *gegevens:* t = 10 min = 600 s
E = 152 kJ = 152000
I = 2,3 A
gevraagd: P = ?
formule: E = P · t dus $P = \frac{E}{t}$
invullen: P = $\frac{152000}{600}$ = 253 W
b. *gevraagd:* U = ?
formule: P = U · I dus U = $\frac{P}{I}$
invullen: $U = \frac{253}{2,3} = 110$ V
c. 10 minuten kost 152 kJ, dus 8 uur kost 152 · 6 · 8 = 7296 kJ. Omgerekend is dit 2,02 kWh, dus het kost dan € 0,30

32. *gegevens:* U = 15 V
t = 20 min = 1200 s
E = 40 kJ = 40000 J
gevraagd: I = ?
formules: E = P · t dus $P = \frac{E}{t}$ en P = U · I dus $I = \frac{P}{U}$
invullen: P = $\frac{40000}{1200}$ = 33,3 W, I = $\frac{33,3}{15}$ = 2,2 A

33a. serieschakeling

b. omdat er 2 weerstanden zijn kun je niet zomaar U = I · R gebruiken

c. bij een serieschakeling mag je de weerstandswaarden bij elkaar optellen, dus $R_v = 10 + 20 = 30\ \Omega$

d. $I_h = \frac{U_b}{R_v} = \frac{12}{30} = 0{,}4$ A

34. bij een serieschakeling mag je de weerstandswaarden bij elkaar optellen, dus $R_v = 20 + 20 = 40\ \Omega$

35a. hij maakt van een getal '1 gedeeld door dat getal'

c. bij een serieschakeling wordt de weerstand dan 2x zo groot, bij een parallelschakeling 2x zo klein

36a. parallelschakeling

b1. die is overal gelijk

b2. $I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{12}{10} = 1{,}2$ A $\qquad I_2 = \frac{U}{R_2} = \frac{12}{20} = 0{,}6$ A

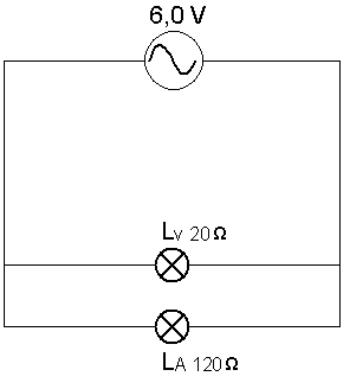
b3. bij een parallelschakeling mag je de deelstromen bij elkaar optellen, dus $I_h = 1{,}2 + 0{,}6 = 1{,}8$ A

c1. $\frac{1}{R_v} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{1}{10} + \frac{1}{20} = 0{,}15$, dus $R_v = 6{,}7\ \Omega$

c2. $I_h = \frac{U_b}{R_v} = \frac{12}{6{,}7} = 1{,}8$ A

37a. zie tekening

b. $\frac{1}{R_v} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{1}{20} + \frac{1}{120} = 0{,}0583$, dus $R_v = 17{,}1\ \Omega$



c1. parallel, dus U is overall gelijk.

$I_v = \frac{U}{R_{1v}} = \frac{6{,}0}{20} = 0{,}3$ A

c2. P = U · I = 6,0 · 0,3 = 1,8 W

d1. parallel, dus U is overall gelijk.

$I_A = \frac{U}{R_A} = \frac{6{,}0}{120} = 0{,}05$ A

d2. P = U · I = 6,0 · 0,05 = 0,3 W

e. voor, want die heeft het grootste vermogen

f1. bij een parallelschakeling mag je de deelstromen bij elkaar optellen, dus $I_h = 0{,}3 + 0{,}05 = 0{,}35$ A

f2. P = U · I = 6,0 · 0,35 = 2,1 W

f3. je mag bij een parallelschakeling ook de deelvermogens bij elkaar optellen om het totale vermogen uit te rekenen.

38a. weerstand, dus 'uier', dus $U = I \cdot R$, dus $R = \frac{U}{I}$. Invullen: $R = \frac{10}{0{,}3} = 33{,}3\ \Omega$

b. serie, dus mag je ze optellen. 23 · 33,3 = 767 Ω

c. $I_v = \frac{U_b}{R_{1v}} = \frac{230}{767} = 0{,}3$ A

d. Alle lampjes gaan uit

e. Groter, want de totale weerstand is kleiner geworden. Dat is ook het probleem met het op die manier repareren van de kerstboomverlichting. Er gaat dan teveel stroom door de lampjes, waardoor ze op den duur allemaal stuk gaan.

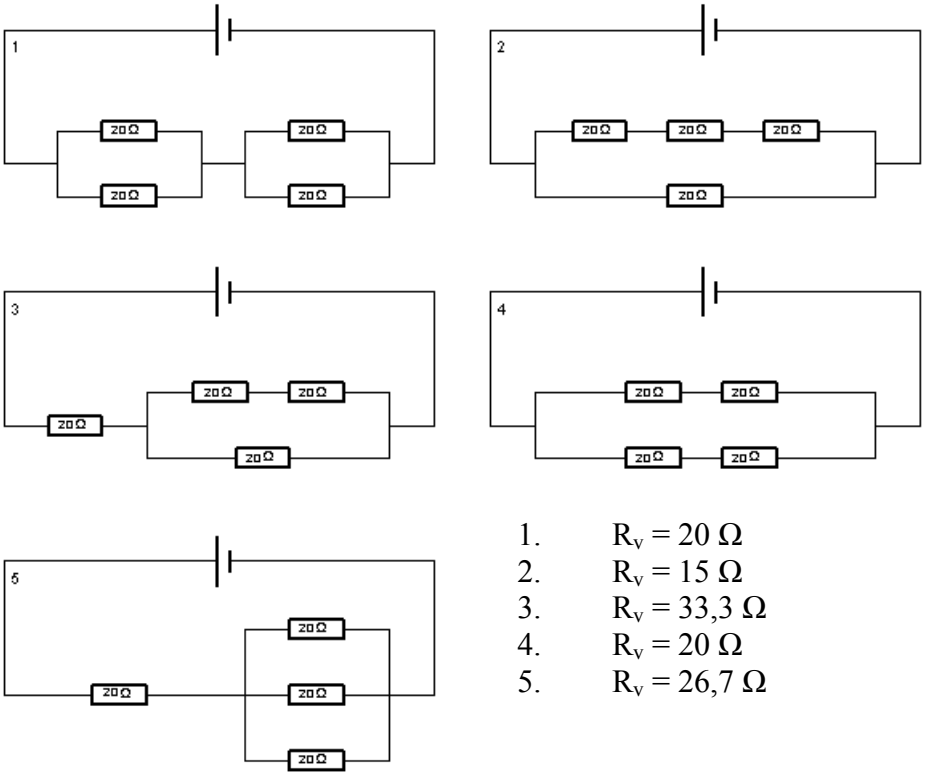
39a. $\frac{1}{R_v} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{60} + \frac{1}{140} + \frac{1}{160} = 0{,}03$, dus $R_v = 33{,}3\ \Omega$

b. $\frac{1}{R_v} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}\ dus\ \frac{1}{60} + \frac{1}{40} + \frac{1}{?} = \frac{1}{15}\ of\ \frac{1}{?} = \frac{1}{15} - \frac{1}{60} - \frac{1}{40} = 0{,}025$ dus ? = 40 Ω

40a. dit noemen we ook wel een combinatieschakeling. Eerst de vervangingsweerstand van de parallelschakeling uitrekenen, deze is 10 Ω. Dan alles optellen, kom je op 50 Ω

b. grootste: alles in serie: 4 x 20 = 80 Ω
kleinste: alles parallel: 20 : 4 = 5 Ω

c.



1. $R_v = 20\ \Omega$
2. $R_v = 15\ \Omega$
3. $R_v = 33{,}3\ \Omega$
4. $R_v = 20\ \Omega$
5. $R_v = 26{,}7\ \Omega$

41a. $R_v = \frac{U_b}{I_h} = \frac{20}{0{,}4} = 50\ \Omega$

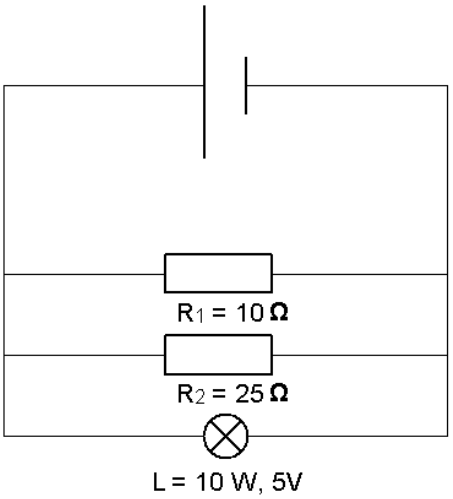
b. $R_l = 50 - 7{,}5 = 42{,}5\ \Omega$

c. Bij een serieschakeling is I overal gelijk, dus $U_L = I \cdot R_l = 0{,}4 \cdot 42{,}5 = 17$ V

d. $P = U \cdot I = 17 \cdot 0{,}4 = 6{,}8$ W

e. Dit kan op 2 manieren: 1. $U_R = 20 - 17 = 3$V
2. $U_R = I \cdot R = 0{,}4 \cdot 7{,}5 = 3$ V

42a. zie tekening hiernaast



b. $P = U \cdot I$, dus $I = \frac{P}{U} = \frac{10}{5} = 2$ A

c. U = I · R, dus R = $\frac{U}{I} = \frac{5}{2} = 2{,}5\ \Omega$

d. Parallelschakeling, dus U overal gelijk.

U = I · R, dus $I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{5}{10} = 0{,}5$ A

e. $I_2 = \frac{U}{R_2} = \frac{5}{25} = 0{,}2$ A. nu alle deelstromen optellen: I_h = 2 + 0,5 + 0,2 = 2,7 A

f. $R_v = \frac{U_b}{I_h} = \frac{5}{2{,}7} = 1{,}9\ \Omega$

43a. R = $\frac{U}{I} = \frac{20}{1{,}5} = 13{,}3\ \Omega$

b. $\frac{13{,}3}{50} \times 100\% = 26{,}7\ \%$

44a. $R_l = \frac{U_l}{I_l} = \frac{4}{0{,}4} = 10\ \Omega$

b. de stroomsterkte I_2 door het rechterdeel = 0,6 – 0,4 = 0,2 A (de hoofdstroom splitst zich). De spanning over het lampje is dezelfde als over het rechterdeel van de schuifweerstand R_2 dus 4V. $R_2 = \frac{U_2}{I_2} = \frac{4}{0{,}2} = 20\ \Omega$

c. als de schuifweerstand helemaal rechts staat is R_2 0 Ω en is de lamp kortgesloten. Dan is hij dus uit.

d. als je 20 / 33,3 doet maak je een fout, want 100 % is 0 / 33,3. doe het daarom als volgt: $\frac{33{,}3 - 20}{33{,}3} \times 100\% =$ 40 %

45a. dat de schakeling hetzelfde blijft werken, ook als hij wat langer aanstaat waardoor de onderdelen warm kunnen worden.

b. lijn 2. R = $\frac{U}{I}$, en lijn 2 geeft telkens dezelfde waarde voor $\frac{U}{I}$ (de helling)

46a. lijn 1. . P= U · I, en als U en I hoger worden wordt P dus ook hoger. Hierdoor wordt de NTC warmer. Verder geldt U = I · R en als R kleiner wordt bij dezelfde U als de rechte lijn wordt I dus groter dan in het geval van de rechte lijn. Dus lijn 1

b. Positieve Temperatuur Coëfficiënt

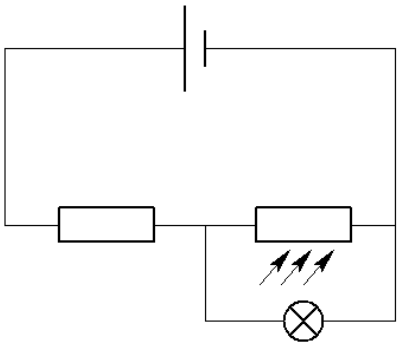
c. Die wordt hoger

d. Lijn 3. er geldt U = I · R en als R groter wordt bij dezelfde U als de rechte lijn wordt I dus kleiner dan in het geval van de rechte lijn. Dus lijn 3

47a. van de hoeveelheid licht

b. nee. Als het donker wordt neemt de weerstand toe en gaat de lamp juist uit

c. Zie schakeling. kijk voor uitleg bij opgave 44. een nadeel is wel dat de lamp bij een bewolkte dag ook nog een beetje licht zou kunnen geven.



48a. 120 Ω
b. 30 Ω
49

Lengte	Doorsnede	weerstand	l (m)	A (mm^2)	R (Ω)
1 m	1 mm^2	0,10 Ω	500	0,25	32
600 m	1 mm^2	60 Ω	500	1	125
600 m	5 mm^2	12 Ω	1	1	0,25
1 m	1 mm^2	0,48 Ω	1	1	0,016
20 m	1 mm^2	9,6 Ω	1	4	0,004
20 m	0,25 mm^2	38,4 Ω	1000	4	4
100 m	2 mm^2	1,4 Ω	1	1	0,016
1 m	2 mm^2	0,014 Ω	1	0,25	0,064
1 m	1 mm^2	0,028 Ω	5	0,25	0,32

50. $R = \frac{\rho \cdot l}{A}$, nemen we voor ρ de waarde 1 in beide gevallen (want die is bij beide gelijk) dan kunnen we de weerstandswaarden vergelijken.
$R_1 = \frac{1 \cdot 500}{0,4} = 1250$, $R_2 = \frac{1 \cdot 600}{0,5} = 1200$. Draad 1 heeft dus de hoogste weerstand.

51. $R = \frac{\rho \cdot l}{A}$ en $\rho = \frac{R \cdot A}{l}$

53. *gegevens:* l = ___400___ cm = ___4__ m
A = ___1__ mm^2 = ___$1 \cdot 10^{-6}$___ m^2
_ρ_ = ___$0,45 \cdot 10^{-6}$_____ Ωm
gevraagd: _R_ = ?

formule: 'raarhol', dus _R_ · _A_ = _ρ_ · _l_. $R = \frac{\rho \cdot _l_}{_A_}$

invullen: $R = \frac{0,45 \cdot 10^{-6} \cdot 4}{1 \cdot 10^{-6}}$ = ___1,8_____ Ω

54. *gegevens:* l = 15 m
A = 0,1 mm^2 = $0,1 \cdot 10^{-6}$ m^2
ρ = $0,016 \cdot 10^{-6}$ Ωm
gevraagd: R = ?

formule: 'raarhol', dus R · A = ρ · l. $R = \frac{\rho \cdot l}{A}$

invullen: $R = \frac{0,016 \cdot 10^{-6} \cdot 15}{0,1 \cdot 10^{-6}}$ = 2,4 Ω

55. *gegevens:* R = 1,2 Ω
l = 15 m
ρ = $0,10 \cdot 10^{-6}$ Ωm
gevraagd: A = ?

formule: 'raarhol', dus R · A = ρ · l $A = \frac{\rho \cdot l}{R}$

invullen: $A = \frac{0,10 \cdot 10^{-6} \cdot 15}{1,2}$ = $1,25 \cdot 10^{-6}$ m^2 = 1,25 mm^2

56. *gegevens:* $A = 0{,}04\ mm^2 = 0{,}04 \cdot 10^{-6}\ m^2$
$l = 20\ m$
$R = 13{,}5\ \Omega$
gevraagd: $\rho = ?$
formule: 'raarhol', dus $R \cdot A = \rho \cdot l$ $\quad \rho = \frac{R \cdot A}{l}$
invullen: $A = \frac{13{,}5 \cdot 0{,}04 \cdot 10^{-6}}{20} = 2{,}7 \cdot 10^{-8}\ \Omega m$ $(= 0{,}027 \cdot 10^{-6}\ \Omega m)$

57. *gegevens:* $U = 24\ V$
$I = 0{,}4\ A$
$A = 1{,}0 \cdot 10^{-9}\ m^2$
$\rho = 17 \cdot 10^{-9}\ \Omega m$
gevraagd: $l = ?$
formules: 'raarhol', dus $R \cdot A = \rho \cdot l$ $\quad l = \frac{R \cdot A}{\rho}$ en $R = \frac{U}{I}$
invullen: $R = \frac{24}{0{,}4} = 60\ \Omega$
$l = \frac{60 \cdot 1{,}0 \cdot 10^{-9}}{17 \cdot 10^{-9}} = 3{,}5\ m$

58. $0{,}20\ mm^2$

59. *gegevens:* $d = 0{,}3\ mm$
$R = 1{,}2\ \Omega$
$\rho = 0{,}10 \cdot 10^{-6}\ \Omega m$
gevraagd: $l = ?$
formules: 'raarhol', dus $R \cdot A = \rho \cdot l$ $\quad l = \frac{R \cdot A}{\rho}$ en $A = \frac{1}{4}\pi d^2$
invullen: $A = 0{,}25 \cdot 3{,}14 \cdot 0{,}3^2 = 0{,}071\ mm^2 = 0{,}071 \cdot 10^{-6}\ m^2$
$l = \frac{1{,}2 \cdot 0{,}071 \cdot 10^{-6}}{0{,}10 \cdot 10^{-6}} = 0{,}85\ m\ (= 85\ cm)$

60. $A = \frac{1}{4}\pi d^2$ invullen: $2.0 = 0{,}25 \cdot 3{,}14 \cdot d^2$
$8 = 3{,}14 \cdot d^2$
$2{,}55 = d^2$
$d = 1{,}6\ mm$

61. *gegevens:* $l = 2{,}0\ m$
$R = 0{,}64\ \Omega$
$\rho = 0{,}45 \cdot 10^{-6}\ \Omega m$
gevraagd: $d = ?$
formules: 'raarhol', dus $R \cdot A = \rho \cdot l$ $\quad A = \frac{\rho \cdot l}{R}$ en $A = \frac{1}{4}\pi d^2$
invullen: $A = \frac{0{,}45 \cdot 10^{-6} \cdot 2{,}0}{0{,}64} = 1{,}4 \cdot 10^{-6}\ m^2 = 1{,}4\ mm^2$
$A = \frac{1}{4}\pi d^2$ invullen: $1{,}4 = 0{,}25 \cdot 3{,}14 \cdot d^2$
$5{,}6 = 3{,}14 \cdot d^2$
$1{,}78 = d^2$
$d = 1{,}3\ mm$

bijlage 2 lessentabellen

Lessentabel b2e

	Wat	hw opgaven
Les 1	theorie lading	th 1 tm 14
Les 2	practicum lading + Bespreken practicum	Opg 1 tm 5
Les 3	Theorie stroom spanning weerstand	th 15 tm 17, opg tm 11
Les 4	Pw terug + zelfst 3.4 en 3.5 doorwerken	th 19 tm 41
Les 5	Uitleg stroomkringen + 10 min werken	12 tm 18
Les 6	Bespreken opgave 17,18	19 tm 21
Les 7	Theorie veiligheid in huis	th 55 tm 63
Les 8	Practicum schakelingen maken	
Les 9	Energie en vermogen	Opg 22 tm 25
Les 10	Bespreken opg 22 tm 25, maken opg	
Les 11	Uitleg vermogen en energie	Opg 26 tm 29
Les 12	Bespreken opgaven vermogen en energie	30 tm 32
Les 13	Bespreken opgaven vermogen en energie	33 tm 35
Les 14	Begin uitleg serie en parallel	
Les 15	So weerstand, vermogen en energie	
Les 16	So bespreken, werken	Opg 35
Les 17	Uitleg serie en parallel	Opg 36
Les 18	Repetitie H3 opg tm 32	
Les 19	Uitleg serie en parallel opg 36 uitgelegd	Opg 37 tm 40
Les 20	Bespreken repetitie H3	Opg 40 tm 42
Les 21	Laatste uitleg 40 tm 42, oefenen voor rep	

Lessentabel g3ab

	Wat	hw opgaven
Les 1	theorie lading	vrij
Les 2	practicum lading	vrij
Les 3	Bespreken practicum + opgaven maken	1 tm 5
Les 4	Theorie stroom spanning weerstand	6 tm 11
Les 5	Korte uitleg stroomrichting	vrij
Les 6	Korte Uitleg stroomkringen + werken	12 tm 25
Les 7	Bespreken opgave 17,19, P=u*i en E=p*t	26 tm 29
Les 8	Bespreken opgaven	30 tm 32, 48 tm 50
Les 9	Vooruit werken, nakijken	vrij
Les 10	Korte Uitleg draadweerstand	51 tm 55
Les 11	Bespreken opg 55, theorie diameter.	tm 61
Les 12	Inleiding serie en parallel	33 tm 37
Les 13	Bespreken 36, 37	38 tm 41
Les 14	Bespreken 38, 40	vrij
Les 15	Oefenrepetitie uitgedeeld, maken in les	rep
Les 16	Repetitie §7.1 – 7.4	vrij
Les 17	Theorie variabele weerstanden	42, 43, 45
Les 18	Bespreken 43,45	44, 46, 47
Les 19	Repetitie terug en bespreken, 44,47 bespreken	vrij
Les 20	Practicum wet v ohm	
Les 21	Uitwerken practicum in les met laptops	
Les 22	Uitwerken practicum in les met laptops	
Les 23	Uitwerken practicum in les met laptops	
Les 24	Practicum elektronische schakelingen maken	
Les 25	Practicum elektronische schakelingen maken	
Les 26	Practicum elektronische schakelingen maken	
Les 27	Oefensommen electr. Schak, oefens. Serie en par.	
Les 28	Inl verslag	

bijlage 3 toetsopgaven

Niveau's
1. Novice – eenvoudig
2. Novice – moeilijk
3. Expert - eenvoudig
4. Expert – moeilijk

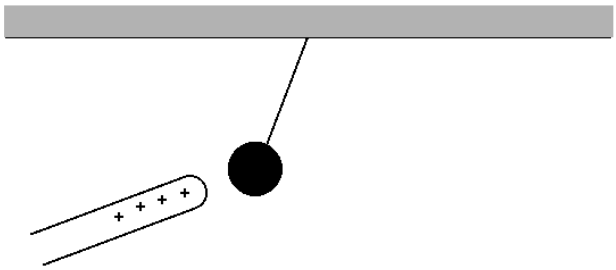
Misconcepties
1. het verschil tussen kortsluiting en overbelasting
2. ideeen over stroombehoud [Licht 1986]
3. ideeen over spanningsverdeling [Licht 1986]
4. lokaal redeneren [Licht 1986]
5. sequentieel redeneren [Licht 1986]

1. **a** Hoe heet een stof die een elektrische stroom niet goed doorlaat?
   b Noem drie stoffen die een elektrische stroom niet goed doorlaten.
   Iemand heeft een schakeling gemaakt met een lampje, een batterij en snoertjes van koperdraad. Koper is een betere geleider dan grafiet.
   c Leg uit wat er gebeurt als je een van de snoertjes vervangt door een potloodstift, die van grafiet is gemaakt.

toets	B2e tus	B2c ein	G2a ein	G3a tus	V3a tus	B2e ein	G3a ein	V3 ein
Opg nr	1	1	1	-	-	-	-	-
# p	a1 b1 c1	a2 b2	a2 b2 c2					
Niveau: 1. Novice – eenvoudig								
Misconcepties: -								

2. Iemand wrijft met een lap over een neutraal geladen staaf. Hierdoor wordt de staaf positief geladen.
   a Leg uit hoe de staaf positief geladen wordt.

   De staaf wordt vervolgens bij een geladen bol gehouden, zie de figuur hieronder.



   b Welke soort lading heeft de bol? Leg uit hoe je dat weet.
   c Als de bol niet geladen is wordt hij dan ook aangetrokken? Leg uit waarom wel of niet.

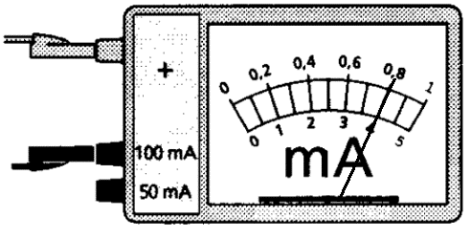
toets	B2e tus	B2c ein	G2a ein	G3a tus	V3a tus	B2e ein	G3a ein	V3 ein
Opg nr	2	2	2	1	1	-	-	-
# p	a1 b1 c1	a2 b2	a2 b2	a1 b1 c1	a2 b2 c2			
Niveau: a,b 1. Novice – eenvoudig c 3. Expert - eenvoudig								
Misconcepties: -								

3. Zie het plaatje van een stroommeter hiernaast.

a Hoe groot is het meetbereik waarop de stroommeter is ingesteld?

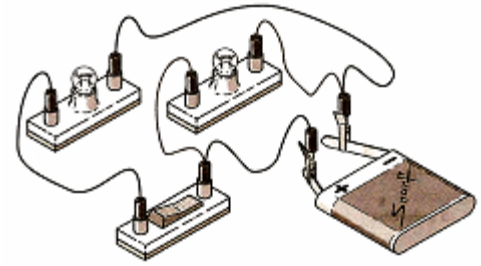
b Wat is de stroomsterkte die de meter aangeeft? (Zet ook de eenheid erbij!)

c Leg uit of je in dit geval over mag schakelen op het lagere meetbereik.



toets	B2e tus	B2c ein	G2a ein	G3a tus	V3a tus	B2e ein	G3a ein	V3 ein
Opg nr	3	3	3	-	-	-	-	-
# p	a1 b1 c1	a2 b2 d2	a2 b2 c2					
Niveau: a,b 1. Novice – eenvoudig c 3. Expert - eenvoudig								
Misconcepties: -								

4. **a** Teken het schakelschema van de opstelling van de figuur hieronder.



b Teken een schakelschema met een batterij, 4 lampjes en 2 schakelaars. De schakeling moet voldoen aan de volgende eisen:

1. 2 lampjes branden fel, 2 minder fel. Schrijf in het schakelschema erbij welke fel en welke minder fel branden.
2. Met schakelaar S_1 kun je alleen één van de felle lampjes in- en uitschakelen.
3. Met S_2 kun je alle lampjes tegelijkertijd in- en uitschakelen.

toets	B2e tus	B2c ein	G2a ein	G3a tus	V3a tus	B2e ein	G3a ein	V3 ein
Opg nr	4	6*	4	-	-	-	-	-
# p	a2 b3	a2 b3*	a2 b3					
Niveau: 3. Expert – eenvoudig (* vraag is met 3 lampjes, dus iets eenvoudiger)								
Misconcepties: -								

5. Reken om:

a 0,3 kWh = … J

b 63000 J = … kWh

toets	B2e tus	B2c ein	G2a ein	G3a tus	V3a tus	B2e ein	G3a ein	V3 ein
Opg nr	5	4	5	4	4	-	-	-
# p	a1 b1	a2 b2	a2 b2	a1 b1	a2 b2			
Niveau: 1. Novice – eenvoudig								
Misconcepties: -								

6. Brigitte kookt water op een kookplaat. Het water kookt na 8 min. Ze heeft tijdens het water koken 720000 Joule aan energie gebruikt.

- Hoe groot is het vermogen van de kookplaat?

toets	B2e tus	B2c ein	G2a ein	G3a tus	V3a tus	B2e ein	G3a ein	V3 ein
Opg nr	6	5	6	5	5	-	-	-
# p	3	3	3	3	3			
Niveau: 2.Novice – moeilijk								
Misconcepties: -								

7. Een zekering zit in een elektrische huisinstallatie ter voorkoming van brand. Hij schakelt uit bij een te grote stroomsterkte. In de huisinstallatie kan op twee manieren een te hoge stroomsterkte ontstaan.

a Welke twee zijn dat?

b Omschrijf van beide kort hoe het ontstaat.

toets	B2e tus	B2c ein	G2a ein	G3a tus	V3a tus	B2e ein	G3a ein	V3 ein
Opg nr	7	7	7	-	-	-	-	-
# p	a1 b1	a2 b2	a2 b2					
Niveau: a 1.Novice – eenvoudig b 3. expert - eenvoudig								
Misconcepties: 1. het verschil tussen kortsluiting en overbelasting								

8. Op school gebruiken we lampjes die je aan moet sluiten op 6 V. Als zo'n lampje aangesloten is op 6 V, is de stroomsterkte door het lampje 0,04 A.
De zekering die in de spanningskastjes op school zitten, zijn zekeringen van 2 A.

a Leg uit hoeveel van deze lampjes je parallel kunt aansluiten op de spanningskastjes.

Je kunt oneindig veel lampjes in serie schakelen.

b Leg uit waarom dat kan, zonder dat de zekering eruit springt.

Als je te veel lampjes serie schakelt, ontstaat er wel een ander probleem.

c Welk ander probleem?

toets	B2e tus	B2c ein	G2a ein	G3a tus	V3a tus	B2e ein	G3a ein	V3 ein
Opg nr	8	9	8	2	2	-	-	-
# p	a1 b1 c1	a2 b2	a2 b2 c2	a1 b1 c1	a2 b2 c2			
Niveau: a. 2. Novice – moeilijk b,c 3.Expert - eenvoudig								
Misconcepties: b 2. ideeen over stroombehoud , c 3. ideeen over spanningsverdeling								

9. Door een weerstand van 50 Ω loopt een stroom van 100 mA.

a Bereken de spanning over de weerstand

Door een gloeilamp die is aangesloten op 230 V loopt een stroom van 0,26 A.

b Bereken het vermogen van de lamp

toets	B2e tus	B2c ein	G2a ein	G3a tus	V3a tus	B2e ein	G3a ein	V3 ein
Opg nr	9	-	-	-	-	-	-	-
# p	a3 b2							
Niveau: 2. Novice – moeilijk								
Misconcepties: -								

10. Door een weerstand loopt een stroom van 0,13 A. Per seconde ontstaat dan 1,6 J warmte.

a bereken de spanning over de weerstand
b bereken de grootte van die weerstand

toets	B2e tus	B2c ein	G2a ein	G3a tus	V3a tus	B2e ein	G3a ein	V3 ein
Opg nr	10	-	-	6	6	-	-	-
# p	a3 b2			a3 b2	a6 b4			
Niveau: 2. Novice – moeilijk								
Misconcepties: -								

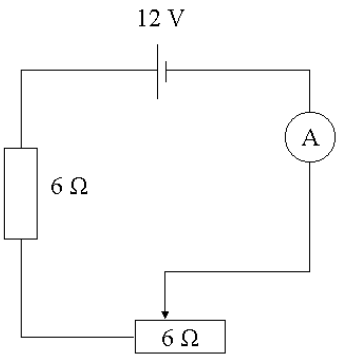
11. Een elektrisch kacheltje met een vermogen van 2200 W staat een hele nacht van 10 uur 's avonds tot 6 uur 's ochtends aan

a. Bereken de elektrische energie die het kacheltje heeft verbruikt in Joule

b. 1 kWh kost € 0,12 . Bereken hoeveel geld dit heeft gekost

toets	B2e tus	B2c ein	G2a ein	G3a tus	V3a tus	B2e ein	G3a ein	V3 ein
Opg nr	-	-	-	-	-	1	-	-
# p						a4 b2		
Niveau: 2. Novice – moeilijk								
Misconcepties: -								

12. In nevenstaande schema is een vaste weerstand van 6 Ω en een regelbare weerstand van 6 Ω opgenomen. De stroom doorloopt ⅓ van de regelbare weerstand.



a. Bereken de stroom die door de schakeling loopt.

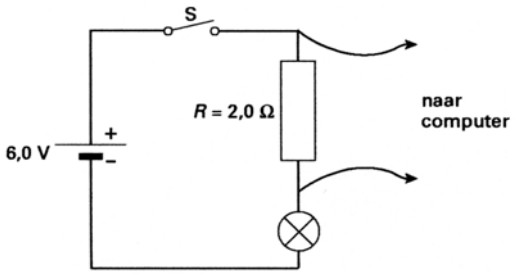
b. Bereken het vermogen dat door de hele schakeling wordt opgenomen

Jan wil dat er een stroom van 0,5 A door de schakeling gaat.

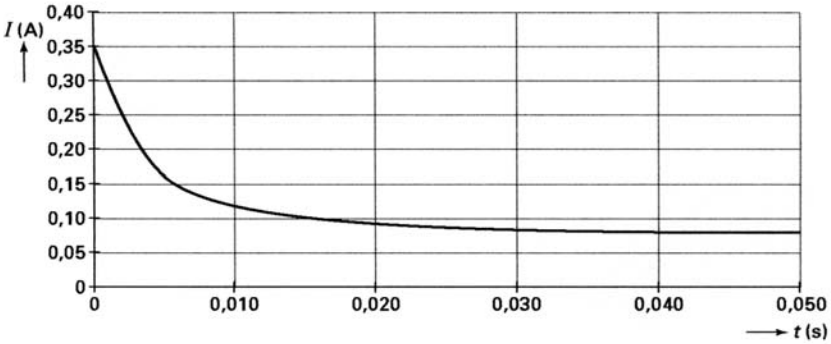
c. Kan hij de regelbare weerstand zo instellen dat de stroom 0,5 A is?
Zo ja, hoe moet hij hem dan instellen?
Zo nee, waarom niet?

toets	B2e tus	B2c ein	G2a ein	G3a tus	V3a tus	B2e ein	G3a ein	V3 ein
Opg nr	-	-	-	-	-	2	2	2
# p						a4 b3 c4	a4 c4	a4 c4
Niveau: a,b 2. Novice – moeilijk c. 3. expert - eenvoudig								
Misconcepties: c 5. problemen bij veranderingen van schakelingen								

13. Maartje onderzoekt hoe vanaf het moment van inschakelen de stroomsterkte door een gloeilampje verloopt. Om de snelle verandering van de stroom te kunnen vastleggen, maakt ze gebruik van een computer. Omdat de computer alleen spanning kan meten, schakelt ze de computer parallel aan een bekende weerstand R die in serie staat met het lampje.



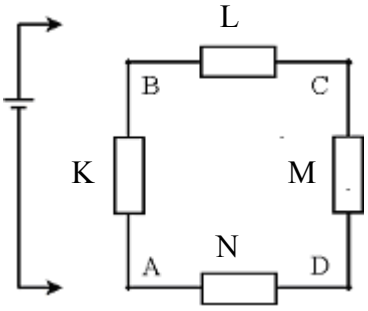
De spanningsbron levert een constante spanning van 6,0 V. Maartje heeft de waarde van R veel kleiner gekozen dan de weerstandswaarde van het lampje. Uit de spanning U over de weerstand van 2,0 Ω berekent de computer de stroomsterkte *I* door het lampje.
Op *t* = 0 s gaat de schakelaar S dicht.
Hieronder is de door de computer bepaalde (*I*,*t*)-grafiek weergegeven.



a. Bepaal de weerstandswaarde van het lampje op *t* = 0 s.
b. Bepaal het vermogen dat het lampje opneemt als de stroomsterkte constant is geworden. Neem R = 100 Ω als je er bij a. niet uit bent gekomen.

toets	B2e tus	B2c ein	G2a ein	G3a tus	V3a tus	B2e ein	G3a ein	V3 ein
Opg nr	-	-	-	-	-	3	6	5
# p						b6 d6	b6 d6	b6 d6
Niveau: 4. expert - moeilijk								
Misconcepties: -								

14. Vier weerstanden van 60 Ω worden aan elkaar gemonteerd volgens het hiernaast staand schema. De spanning van de spanningsbron is 90 V.



a. Bereken de vervangingsweerstand als de punten A en B worden aangesloten op de spanningsbron.
b. Bereken de vervangingsweerstand als de punten A en C worden aangesloten op de spanningsbron.
d. Bereken zowel voor de situatie van vraag (a) als die van vraag (b) de stroomsterkte door weerstand K.

toets	B2e tus	B2c ein	G2a ein	G3a tus	V3a tus	B2e ein	G3a ein	V3 ein
Opg nr	-	-	-	-	-	4	1	1
# p						a4 b4 c6	a4 b4 c6	a4 b4 c6
Niveau: 4. expert - moeilijk								
Misconcepties: 4. lokaal redeneren								

bijlage 4 scores per niveau

1. novice eenvoudig		1a	max #p 2			1b	max #p 2		
	b2e	b2e norm	b2c	g2a		b2e	b2e norm	b2c	g2a
	1	2	2	2		1	2	2	0
	0,5	1	2	2		0,5	1	1	2
	1	2	2	2		1	2	2	2
	1	2	0	2		1	2	0	2
	1	2	2	2		0,5	1	2	2
	1	2	2	2		1	2	1	2
	1	2	2	2		0,5	1	1	2
	1	2	2	2		0	0	2	2
	0	0	2	2		0	0	2	2
	1	2	2	2		1	2	1	2
	1	2	2	0		0	0	2	2
	1	2	2	2		1	2	2	2
	0	0	2	2		0	0	2	2
	0	0	0	2		0	0	0	2
	1	2	0	2		0,5	1	0	2
	1	2	2	2		0	0	2	1
	1	2	2	2		0	0	0	2
	1	2	2	2		0,5	1	1	2
	1	2	2	2		1	2	2	2
	1	2	2	2		1	2	0	2
	1	2	2	2		1	2	2	2
	1	2				1	2		
	1	2				1	2		
	1	2				1	2		
	0	0				0,5	1		
	1	2				0	0		
	1	2				1	2		
	1	2				1	2		
max #p	1	2	2	2		1	2	2	2
n		28	21	21			28	21	21
X		1,678571	1,714286	1,904762			1,214286	1,285714	1,857143
stdev		0,722832	0,717137	0,436436			0,875897	0,845154	0,478091
vergelijk	b2e	83,9%	85,7%	95,2%			60,7%	64,3%	92,9%
S			0,148523	0,123164				0,177541	0,145556
T			-0,83299	-6,36181				-1,39368	-15,2994
d			0,95	0,95				0,95	0,95
f			47	47				47	47
t			2,01	2,01				2,01	2,01
t-toets			gn verschil	minder				gn verschil	minder
S	g3								
T									
d									
f									
t									
t-toets									

1c	max #p 2		2a	max #p 2						
b2e	b2e norm	g2a	b2e	b2e norm	b2c	g2a	g3	g3 norm	v3c	v3e
0	0	1	1	2	2	2	1	2	1	2
1	2	2	1	2	0	2	1	2	2	2
1	2	0	1	2	2	2	1	2	1	2
0,5	1	2	0	0	2	2	1	2	2	2
1	2	2	0	0	2	2	1	2	2	2
1	2	2	1	2	2	2	0	0	2	2
0	0	2	1	2	2	2	1	2	2	2
1	2	1	1	2	0	0	1	2	2	2
0	0	2	0	0	0	2	1	2	0	2
0	0	0	1	2	2	2	0,5	1	2	2
0	0	2	0,5	1	2	2	1	2	1	2
1	2	2	1	2	0	2	1	2	2	0
0	0	2	0	0	1	2	1	2	2	2
0	0	2	0	0	0	2	1	2	1	2
0	0	1	1	2	2	2	1	2	2	0
0	0	2	0	0	2	2	1	2		2
0	0	0	0	0	1	2	1	2		2
1	2	1	1	2	0	1	1	2		2
1	2	2	0,5	1	0	2	1	2		2
1	2	1	1	2	2	2	1	2		0
0,5	1	2	1	2	2	2	0	0		2
1	2		0	0			1	2		2
0	0		1	2			1	2		
1	2		0	0			0,5	1		
0	0		0	0			1	2		
0	0		0	0			1	2		
1	2		1	2			0	0		
1	2		1	2			1	2		
1	2	2	1	2	2	2	1	2	2	2
	28	21		28	21	21		28	15	22
	1	1,47619		1,142857	1,238095	1,857143		1,714286	1,6	1,727273
	0,981307	0,749603		0,970463	0,94365	0,478091		0,658682	0,632456	0,7025
	50,0%	73,8%		57,1%	61,9%	92,9%		85,7%	80,0%	86,4%
		0,180122			0,197445	0,157802		0,15961	0,180906	0,172923
		-9,15807			-1,67092	-15,6801		-13,3958	-7,89752	-11,8625
		0,95			0,95	0,95		0,95	0,95	0,95
		47			47	47		54	41	48
		2,01			2,01	2,01		2,01	2,01	2,01
		minder			gn verschil	minder		minder	minder	minder
				0,15961	0,167861	0,11872			0,142612	0,138997
				13,39575	9,826995	-4,16841			2,504535	-0,32795
				0,95	0,95	0,95			0,95	0,95
				54	47	47			41	48
				2,01	2,01	2,01			2,01	2,01
				beter	beter	minder			beter	gn verschil

2b max #p 2

b2e	b2e norm	b2c	g2a	g3	g3 norm	v3c	v3e
1	2	0,5	2	1	2	1	2
0	0	2	2	1	2	2	2
1	2	2	1	1	2	2	2
0	0	2	2	1	2	2	2
0	0	2	2	1	2	2	2
1	2	2	0	1	2	2	2
0	0	0	2	1	2	2	2
1	2	0	0	1	2	2	2
0	0	2	2	1	2	2	2
1	2	0	2	1	2	2	2
1	2	0,5	2	1	2	2	2
1	2	2	2	1	2	2	2
1	2	2	2	1	2	2	2
0,5	1	0,5	2	1	2	2	2
1	2	0,5	0	1	2	2	2
1	2	2	2	1	2		2
0	0	2	2	0	0		2
1	2	2	2	1	2		2
0,5	1	0	0	1	2		2
1	2	2	0	1	2		2
1	2	2	2	1	2		2
1	2			1	2		2
1	2			1	2		
0	0			0	0		
0	0			1	2		
0	0			1	2		
1	2			1	2		
1	2			1	2		
1	2	2	2	1	2	2	2
	28	21	21		28	15	22
	1,285714	1,333333	1,47619		1,857143	1,933333	2
	0,93718	0,885061	0,872872		0,524531	0,258199	0
	64,3%	66,7%	73,8%		92,9%	96,7%	100,0%
		0,188027	0,18681		0,146151	0,151816	0,13527
		-0,87731	-3,53208		-14,6294	-13,3319	-18,5342
		0,95	0,95		0,95	0,95	0,95
		47	47		54	41	48
		2,01	2,01		2,01	2,01	2,01
		gn verschil	minder		minder	minder	minder
	0,146151	0,150068	0,148542			0,091305	0,075709
	14,62937	12,09134	8,884093			-2,60794	-6,62304
	0,95	0,95	0,95			0,95	0,95
	54	47	47			41	48
	2,01	2,01	2,01			2,01	2,01
	beter	beter	beter			minder	minder

3a max #p 2

b2e	b2e norm	b2c	g2a
1	2	2	2
0	0	2	2
0	0	2	2
1	2	2	1,5
1	2	0	2
0	0	0	0
0	0	2	2
0	0	2	0
0	0	2	2
0	0	1,5	2
0	0	2	0
1	2	2	2
0	0	0	2
0	0	2	2
0,5	1	2	0
1	2	2	2
0	0	2	2
1	2	0	2
1	2	2	2
0	0	2	0
1	2	0	0
0	0		
1	2		
0	0		
0	0		
0	0		
0	0		
1	2		
1	2	2	2
	28	21	21
	0,75	1,5	1,404762
	0,96705	0,866025	0,916775
	37,5%	75,0%	70,2%
		0,189354	0,194371
		-13,7207	-11,6692
		0,95	0,95
		47	47
		2,01	2,01
		minder	minder

3b max #p 2

b2e	b2e norm	b2c	g2a
1	2	0	2
0	0	0	2
0	0	0	2
1	2	0	0
0	0	0	0
0	0	0	1,5
0	0	2	0
0	0	0	0
0	0	0	2
0	0	0	2
0	0	2	0
0	0	2	2
0	0	0	2
0	0	2	0
0	0	2	0
0	0	0	0
0	0	0	2
0	0	0	2
0	0	2	0
0	0	0	0
0	0	0	2
0	0		
1	2		
0	0		
0	0		
0	0		
0	0		
0	0		
1	2	2	2
	28	21	21
	0,214286	0,571429	1,02381
	0,629941	0,92582	1,005935
	10,7%	28,6%	51,2%
		0,163341	0,173127
		-7,57423	-16,1978
		0,95	0,95
		47	47
		2,01	2,01
		minder	minder

5a max #p 2

b2e	b2e norm	b2c	g2a	g3	g3 norm	v3c	v3e
1	2	2	2	1	2	2	2
0,5	1	2	2	1	2	0	2
1	2	2	2	1	2	2	0
1	2	0	2	0	0	2	2
1	2	2	0	1	2	2	2
1	2	0	2	1	2	2	2
1	2	1	2	1	2	0	2
1	2	0	2	1	2	0	0
0	0	2	2	1	2	2	1
1	2	0	2	0	0	2	0
1	2	2	2	1	2	0	1
1	2	2	2	1	2	2	2
1	2	2	0	1	2	0	0
0	0	0	2	1	2	0	0
1	2	2	0	1	2	0	0
1	2	2	2	0	0		2
1	2	2	2	1	2		2
1	2	0	0	1	2		2
1	2	0	0	0	0		1
1	2	0	0	0	0		2
1	2	2	2	0	0		2
1	2			1	2		0
0,5	1			1	2		
1	2			0	0		
0	0			0	0		
1	2			1	2		
1	2			1	2		
1	2			1	2		
1	2	2	2	1	2	2	2
	28	21	21		28	15	22
	1,714286	1,190476	1,428571		1,428571	1,066667	1,227273
	0,658682	0,980767	0,92582		0,920087	1,032796	0,922307
	85,7%	59,5%	71,4%		71,4%	53,3%	61,4%
		0,172329	0,165735		0,153986	0,191307	0,163587
		10,52947	5,971831		6,942503	10,57986	10,44955
		0,95	0,95		0,95	0,95	0,95
		47	47		54	41	48
		2,01	2,01		2,01	2,01	2,01
		beter	beter		beter	beter	beter
	0,153986	0,196158	0,190392			0,216019	0,188039
	-6,9425	4,204701	0			5,235924	3,757501
	0,95	0,95	0,95			0,95	0,95
	54	47	47			41	48
	2,01	2,01	2,01			2,01	2,01
	minder	beter	gn verschil			beter	beter

5b	max #p 2							7a	max #p 2		
b2e	b2e norm	b2c	g2a	g3	g3 norm	v3c	v3e	b2e	b2e norm	b2c	g2a
0	0	2	2	1	2	2	2	1	2	2	2
0,5	1	0	0	0	0	0	2	0,5	1	2	2
1	2	2	2	1	2	2	0	1	2	1	2
1	2	0	2	0	0	2	2	0	0	2	2
0,5	1	0	2	1	2	2	2	1	2	0	1
1	2	0	2	1	2	2	2	1	2	1	1
1	2	2	2	1	2	0	2	0,5	1	0	2
1	2	0	2	1	2	0	0	0,5	1	1	0
0	0	2	2	1	2	2	1	0	0	1	1
1	2	0	2	0	0	2	0	1	2	1	0
1	2	2	2	1	2	0	1	0,5	1	2	2
0,5	1	2	2	1	2	2	2	1	2	1	2
1	2	2	0	1	2	0	0	0,5	1	1	2
0	0	0	2	1	2	0	0	0,5	1	0	2
1	2	2	0	1	2	0	0	0,5	1	2	0
1	2	2	2	0	0		2	0,5	1	2	2
1	2	0	2	1	2		2	0,5	1	2	1
0,5	1	1	2	1	2		2	1	2	0	2
1	2	0	0	1	2		1	1	2	1	0
1	2	0	0	0	0		2	0,5	1	1	2
1	2	2	2	1	2		2	1	2	2	1
1	2			1	2		0	0	0		
1	2			1	2			0,5	1		
1	2			0	0			1	2		
0	0			0	0			0	0		
0	0			0,5	1			0	0		
1	2			1	2			1	2		
1	2			1	2			0,5	1		
1	2	2	2	1	2	2	2	1	2	2	2
	28	21	21		28	15	22		28	21	21
	1,5	1	1,52381		1,464286	1,066667	1,227273		1,214286	1,190476	1,380952
	0,793492	1	0,872872		0,881167	1,032796	0,922307		0,738223	0,749603	0,804748
	75,0%	50,0%	76,2%		73,2%	53,3%	61,4%		60,7%	59,5%	69,0%
		0,186207	0,172067		0,161365	0,203404	0,175611			0,153462	0,159293
		9,301759	-0,47934		0,828127	6,65815	5,451083			0,537453	-3,62445
		0,95	0,95		0,95	0,95	0,95			0,95	0,95
		47	47		54	41	48			47	47
		2,01	2,01		2,01	2,01	2,01			2,01	2,01
		beter	gn verschil		gn verschil	beter	beter			gn verschil	minder
	0,161365	0,194414	0,180917			0,212024	0,184114				
	-0,82813	8,272709	-1,13973			5,861011	4,51846				
	0,95	0,95	0,95			0,95	0,95				
	54	47	47			41	48				
	2,01	2,01	2,01			2,01	2,01				
	gn verschil	beter	gn verschil			beter	beter				

2. novice moeilijk

	6	max #p 3				
	b2e	b2c	g2a	g3	v3c	v3e
	3	3	0	3	3	3
	0	0	3	3	2,5	3
	3	2,5	0	3	2	3
	3	1	2	2,5	3	3
	2,5	0	3	3	3	3
	3	0	3	3	2,5	3
	3	0	2	3	3	3
	3	3	0	3	3	3
	0	3	3	3	3	3
	3	3	3	3	3	3
	3	3	3	2	2	3
	0	3	3	3	3	1
	0	0	3	3	2	3
	0	0	3	2,5	3	1
	2,5	3	0	3	3	1,5
	2	1,5	2	2,5		3
	3	0	2	3		3
	2,5	0	1	3		3
	3	0	1	3		3
	3	3	2	3		3
	3	0	2	1		3
	2,5			3		3
	3			3		
	3			3		
	0			3		
	0			1		
	3			3		
	3			3		
max #p	3	3	3	3	3	3
n	28	21	21	28	15	22
X	2,142857	1,380952	1,952381	2,767857	2,733333	2,75
stdev	1,282771	1,439659	1,16087	0,552472	0,416905	0,650092
vergelijk	71,4%	46,0%	65,1%	92,3%	91,1%	91,7%
S		0,281263	0,252356	0,190065	0,21065	0,207571
T		9,383793	2,614677	-12,3039	-8,76054	-10,2667
d		0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
f		47	47	54	41	48
t		2,01	2,01	2,01	2,01	2,01
t-toets		beter	beter	minder	minder	minder
S	0,190065	0,224928	0,187528		0,108091	0,12314
T	12,30389	21,35967	15,06381		0,9982	0,509001
d	0,95	0,95	0,95		0,95	0,95
f	54	47	47		41	48
t	2,01	2,01	2,01		2,01	2,01
					gn	gn
t-toets	beter	beter	beter		verschil	verschil

8a		max #p 2					9a	max #p 3
b2e	b2e norm	b2c	g2a	g3	g3 norm	v3e	b2e	
1	2	1	2	1	2	2	2	
0	0	0	2	0,5	1	2	1	
1	2	2	0	1	2	2	3	
0	0	2	2	1	2	2	1	
0,5	1	2	1	1	2	0	2	
1	2	2	2	1	2	2	3	
1	2	2	2	1	2	2	3	
1	2	2	2	1	2	2	2	
0	0	2	2	1	2	2	0	
1	2	2	2	0	0	0	3	
1	2	2	2	1	2	2	0	
1	2	2	2	1	2	2	1,5	
0	0	2	2	1	2	2	0	
0	0	0	2	1	2	2	0	
1	2	2	2	1	2	2	1	
0,5	1	2	2	1	2	2	0	
0	0	2	2	0,5	1	2	1,5	
1	2	2	2	1	2	2	3	
1	2	2	2	0	0	2	0	
1	2	0	0	1	2	2	3	
0,5	1	2	2	1	2	2	3	
1	2			1	2	1	3	
1	2			1	2		2	
0	0			1	2		3	
0	0			1	2		0	
1	2			1	2		1,5	
1	2			1	2		2	
1	2			1	2		2	
1	2	2	2	1	2	2	3	
	28	21	21		28	22	28	
	1,321429	1,666667	1,761905		1,785714	1,772727	1,660714	
	0,904866	0,730297	0,624881		0,568112	0,61193	1,178932	
	66,1%	83,3%	88,1%		89,3%	88,6%	55,4%	
		0,169613	0,160402		0,145394	0,157668		
		-7,05101	-9,51267		-11,9482	-10,0468		
		0,95	0,95		0,95	0,95		
		47	47		54	48		
		2,01	2,01		2,01	2,01		
		minder	minder		minder	minder		
	0,145394	0,134961	0,123187			0,120521		
	11,94818	3,055638	0,66954			0,378228		
	0,95	0,95	0,95			0,95		
	54	47	47			48		
	2,01	2,01	2,01			2,01		
	beter	beter	gn verschil			gn verschil		

9b	max #p 2	10a	max #p 3					
b2e		b2e	g3	v3c	v3c norm	v3e	v3e norm
0		3	3	6	3	4	2
1		0	3	6	3	6	3
2		3	3	6	3	0	0
2		3	2,5	0	0	6	3
2		2,5	3	6	3	6	3
1,5		3	2,5	6	3	6	3
2		3	3	0	0	0	0
2		0	3	0	0	2	1
0		0	3	0	0	6	3
2		3	3	0	0	0	0
2		0	3	1	0,5	6	3
1,5		0	3	6	3	6	3
0		0	1	6	3	6	3
0		0	2,5	6	3	6	3
2		0	3	6	3	6	3
0		0	0			6	3
2		3	0			6	3
2		3	2,5			0	0
2		3	0			6	3
2		3	3			6	3
2		3	3			6	3
2		0	3			6	3
2		0	3				
2		3	1				
0		0	1				
1,5		0	0				
2		3	0				
2		2,5	3				
2		3	3	6	3	6	3
28		28	28		15		22
1,482143		1,571429	2,178571		1,833333		2,318182
0,821946		1,495142	1,2035		1,484042		1,210524
74,1%		52,4%	72,6%		61,1%		77,3%
			0,261189		0,328998		0,27767
			-8,69761		-2,48794		-9,43961
			0,95		0,95		0,95
			54		41		48
			2,01		2,01		2,01
			minder		minder		minder
		0,261189			0,298402		0,246381
		8,697613			3,615825		-1,98891
		0,95			0,95		0,95
		54			41		48
		2,01			2,01		2,01
							gn
		beter			beter		verschil

10b	max #p 2						11a	max #p 4
b2e	g3	v3c	v3c norm	v3e	v3e norm		b2e	
1,5	2	4	2	4	2		4	
0	2	4	2	4	2		4	
2	2	4	2	0	0		3	
2	2	0	0	4	2		4	
0,5	0	4	2	4	2		4	
2	2	4	2	4	2		4	
2	2	0	0	0	0		4	
0	2	0	0	4	2		4	
0	2	0	0	4	2		0	
2	2	0	0	4	2		3	
0	2	0	0	4	2		4	
0	2	4	2	4	2		3,5	
0	2	4	2	1	0,5		0	
0	0	4	2	4	2		1	
0	2	0	0	0	0		4	
0	0			0	0		3	
2	0			4	2		4	
0	0			0	0		3	
0	0			4	2		4	
2	2			4	2		4	
2	2			4	2		4	
2	2			4	2		4	
1	2						3	
0	0						4	
0	0						4	
0	0						0	
2	0						4	
2	2						4	
2	2	4	2	4	2		4	
28	28		15		22		28	
0,892857	1,285714		1,066667		1,477273		3,240741	
0,965681	0,9759		1,032796		0,879357		1,339994	
44,6%	64,3%		53,3%		73,9%		81,0%	
	0,186831		0,220819		0,188514			
	-7,86772		-2,45995		-10,8813			
	0,95		0,95		0,95			
	54		41		48			
	2,01		2,01		2,01			
	minder		minder		minder			
0,186831			0,221912		0,189608			
7,867722			3,084946		-3,5461			
0,95			0,95		0,95			
54			41		48			
2,01			2,01		2,01			
beter			beter		minder			

11b	max #p 2	12a	max #p 4			
b2e		b2e	g3	v3c	v3e	
2		2	2	3	2	
2		2	2	1	4	
2		2	4	1	4	
2		4	4	4	0	
0		2	4	4	0	
2		3	3	1	0	
0		2	4	0	4	
0		2	3	1	4	
0		0	3	1	1	
2		4	1	4	0	
1		1	4	1	0	
2		3	3,5	4	4	
0		0	4	4	0	
0		2	0	1	1	
2		2	4	1	0	
0		1	0	1	4	
2		2	3	1	4	
2		1	2	4	0	
2		2	1		0	
0		2	0		0	
2		4	3			
2		4	4			
0		1	4			
2		3	1			
2		2	4			
0		0	4			
2		4	0			
2		4	4			
2		4	4	4	4	
28		28	28	18	20	
1,222222		2,111111	2,648148	2,055556	1,6	
0,974022		1,2195	1,505214	1,513555	1,875044	
61,1%		52,8%	66,2%	51,4%	40,0%	
			0,263623	0,293026	0,329788	
			-7,62227	0,627563	5,293632	
			0,95	0,95	0,95	
			54	44	46	
			2,01	2,01	2,01	
			minder	gn verschil	beter	
		0,263623		0,321803	0,354519	
		7,622275		6,095401	10,09849	
		0,95		0,95	0,95	
		54		44	46	
		2,01		2,01	2,01	
		beter		beter	beter	

3. expert eenvoudig

		2c	max #p 2			
		b2e	g3	g3 norm	v3c	v3e
		0,5	1	2	0	2
		0	0,5	1	2	1
		0,5	1	2	2	0
		0	1	2	1	0
		0	0	0	0	2
		1	1	2	2	0
		0	1	2	0	2
		0	1	2	2	0
		0	0,5	1	2	0
		0	0	0	0	2
		0	0	0	0	2
		0	1	2	2	1
		0	1	2	2	0
		0	0	0	2	2
		0	0	0	2	0
		0	0	0		0
		0,5	0,5	1		0
		0	0	0		2
		0	0,5	1		0
		0,5	0,5	1		0
		0,5	0,5	1		2
		0	1	2		0
		0	1	2		
		0,5	0	0		
		0	1	2		
		0	0	0		
		0	1	2		
		0,5	0	0		
max #p		2	1	2	2	2
n		28		28	15	22
X		0,160714		1,071429	1,266667	0,818182
stdev		0,273982		0,899735	0,96115	0,957992
vergelijk	b2e	8,0%		53,6%	63,3%	40,9%
S				0,127989	0,156086	0,143818
T				-26,6239	-22,1444	-16,046
d				0,95	0,95	0,95
f				54	41	48
t				2,01	2,01	2,01
t-toets				minder	minder	minder
S	g3	0,127989			0,205612	0,189697
T		26,62392			-2,9676	4,685861
d		0,95			0,95	0,95
f		54			41	48
t		2,01			2,01	2,01
t-toets		beter			minder	beter

3c max #p 2

b2e	b2e norm	b2c	g2a
0	0	2	2
1	2	1	2
0	0	0	2
1	2	0	0
0	0	2	2
1	2	2	2
0	0	0	0
0	0	0	0,5
0	0	0	2
0	0	2	2
0	0	2	0
1	2	1	2
0	0	0	2
0	0	2	2
0	0	0	0,5
0	0	1	2
0	0	0	2
0	0	0	2
0,5	1	0	0
0	0	0	0
1	2	1	0,5
0	0		
1	2		
0	0		
1	2		
0	0		
1	2		
0	0		
1	2	2	2
	28	21	21
	0,607143	0,761905	1,309524
	0,916486	0,889087	0,914825
	30,4%	38,1%	65,5%
		0,186252	0,188885
		-2,87842	-12,8815
		0,95	0,95
		47	47
		2,01	2,01
		minder	minder

4a max #p 2

b2e	b2c	g2a
2	1	2
1	2	2
2	1	2
2	2	2
1	1	2
1	2	2
0,5	1	1
1	1	1
0	1	2
1	1,5	2
1	1	2
1	1	2
0	0,5	2
0	2	2
2	1	1
2	2	1
2	0,5	2
1	1,5	2
1	1	2
1	2	0
2	2	2
1		
1		
2		
0		
1,5		
2		
2		
2	2	2
28	21	21
1,214286	1,333333	1,714286
0,699584	0,532291	0,560612
60,7%	66,7%	85,7%
	0,128224	0,130767
	-3,21618	-13,2453
	0,95	0,95
	47	47
	2,01	2,01
	minder	minder

4b max #p 3

b2e	b2c	g2a
2	1,5	3
1	2,5	2,5
3	3	3
1,5	2	1
0	1	3
3	3	2,5
2	1,5	1
2	2	3
0	1,5	3
2	2	3
2	2	2
3	3	3
0	2	2
0	0	3
2	3	1
0	1,5	3
1	1	3
1	0,5	3
2	3	3
2	1	0
3	3	3
2		
0		
2		
0		
2		
3		
2		
3	3	3
28	21	21
1,553571	1,904762	2,428571
1,065792	0,903037	0,912219
51,8%	63,5%	81,0%
	0,203762	0,20463
	-5,9705	-14,8125
	0,95	0,95
	47	47
	2,01	2,01
	minder	minder

7b max #p 2

b2e	b2e norm	b2c	g2a
1	2	2	2
0	0	2	1
1	2	1	2
0	0	2	1
0,5	1	0	2
1	2	1	1
0,5	1	0	1
0	0	1	1
0	0	1	1
1	2	1	0
0,5	1	2	2
0	0	1	2
0,5	1	1	2
0,5	1	0	2
0	0	2	0
0	0	2	2
0,5	1	2	2
1	2	0	1
0,5	1	1	1
0	0	1	2
1	2	2	2
0	0		
1	2		
0,5	1		
0	0		
0	0		
1	2		
1	2		
1	2	2	2
28	21	21	
0,928571	1,190476	1,428571	
0,857584	0,749603	0,676123	
46,4%	59,5%	71,4%	
	0,166142	0,159293	
	-5,46077	-10,8734	
	0,95	0,95	
	47	47	
	2,01	2,01	
	minder	minder	

8b max #p 2

b2e	b2e norm	b2c	g2a	g3	g3 norm	v3e
0	0	0	0	0	0	1
0	0	0	0	0	0	1
1	2	0	1	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
1	2	0	1	0	0	0
0	0	0	1	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	1
0	0	0	0	0	0	1
0	0	0	0	0	0	1
0	0	0	2	0	0	0
0	0	0	2	0	0	1
1	2	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
1	2	0	0	0	0	0
0	0			0	0	0
0	0			0	0	
0	0			0	0	
0	0			0	0	
0	0			0	0	
1	2			0	0	
1	2			0	0	
1	2	2	2	1	2	2
	28	21	21		28	22
	0,428571	0	0,333333		0	0,272727
	0,835711	0	0,658281		0	0,455842
	21,4%	0,0%	16,7%		0,0%	13,6%
		0,121901	0,155176		0,113726	0,137402
		12,17886	2,126061		14,10029	3,981102
		0,95	0,95		0,95	0,95
		47	47		54	48
		2,01	2,01		2,01	2,01
		beter	beter		beter	beter
	0,113726	0	0,09602			0,065795
	-14,1003	#DEEL/0!	-12,0256			-14,5492
	0,95	0,95	0,95			0,95
	54	47	47			48
	2,01	2,01	2,01			2,01
	minder	#DEEL/0!	minder			minder

8c max #p 2

b2e	b2e norm	g2a	g3	g3 norm	v3e
1	2	2	0	0	0
1	2	1	0	0	2
1	2	2	0	0	1
0	0	0	0	0	0
0	0	2	0	0	0
1	2	2	1	2	0
0	0	0	0	0	0
0	0	1	1	2	0
0	0	2	0	0	1
1	2	0	0	0	1
0	0	2	1	2	2
0	0	2	1	2	0
0	0	2	0	0	0
0	0	2	1	2	0
0	0	1	0	0	0
0	0	2	0	0	0
0	0	2	1	2	0
0	0	1	1	2	1
0	0	2	0	0	0
0	0	1	0	0	0
0,5	1	2	1	2	0
0	0		0	0	2
0	0		0	0	
0	0		0	0	
0	0		1	2	
0	0		0	0	
1	2		0	0	
1	2		0	0	
1	2	2	1	2	2
	28	21		28	22
	0,535714	1,47619		0,642857	0,454545
	0,881167	0,749603		0,95119	0,738549
	26,8%	73,8%		32,1%	22,7%
		0,168748		0,176447	0,165951
		-19,3064		-2,27202	1,716779
		0,95		0,95	0,95
		47		54	48
		2,01		2,01	2,01
		minder		minder	gn verschil
	0,176447	0,176651			0,173818
	2,27202	-16,3415			3,802654
	0,95	0,95			0,95
	54	47			48
	2,01	2,01			2,01
	beter	minder			beter

12b	max#p3	12c	max #p 4			
b2e			b2e	g3	v3c	v3e
3			4	3	4	3
3			3	3	3	4
3			0	4	2	3
3			4	4	4	0
3			0	4	3	4
3			4	4	0	3
3			0	4	4	4
3			0	3	2	2
0			0	3	2	2
0			2	1	4	3
3			0	4	0	0
0			0	3	4	4
0			0	4	3	2
0			0	3	3	0
3			0	3	0	3
0			0	0	3	4
3			3	4	3	4
0			0	3	2	3
0			0	0		3
3			0	0		3
3			4	0		
3			0	4		
3			0	4		
3			0	3		
3			3	3		
0			0	0		
3			0	0		
3			4	3		
3			4	4	4	4
28			28	27	18	20
2,035714			1,107143	2,62963	2,555556	2,7
1,426785			1,685214	1,572557	1,381484	1,341641
67,9%			27,7%	65,7%	63,9%	67,5%
				0,316612	0,328511	0,317598
				-17,8281	-14,5942	-17,1306
				0,95	0,95	0,95
				53	44	46
				2,01	2,01	2,01
				minder	minder	minder
			0,316612		0,319208	0,308146
			17,82814		0,762613	-0,77407
			0,95		0,95	0,95
			53		43	45
			2,01		2,01	2,01
					gn	gn
			beter		verschil	verschil

4. expert moeilijk	13b	max #p 6			
		b2e	g3	v3c	v3e
		5,5	6	2	6
		0	5	0	4
		5	5	2	1
		5	5	2	4
		3	5	2	4
		5	6	2	0
		1	0	1	4
		5	6	4	0
		0	5	2	0
		0	5	2	4
		0	5	0	6
		2	5	2	4
		0	0	6	4
		1	5	2	4
		5	5	4	4
		0	0	2	0
		5	5	2	4
		0	5	2	0
		2	5		4
		5	0		4
		6	5		
		2	6		
		0	5		
		5	5		
		1	0		
		0	0		
		2	0		
		5	6		
max #p		6	6	6	6
n		28	28	18	20
X		2,517857	4	2,166667	3,05
stdev		2,291216	2,262742	1,382666	2,038446
vergelijk	b2e	42,0%	66,7%	36,1%	50,8%
S			0,438213	0,403435	0,452167
T			-12,6552	2,881412	-4,01978
d			0,95	0,95	0,95
f			54	44	46
t			2,01	2,01	2,01
t-toets			minder	beter	minder
S	g3	0,438213		0,399766	0,449039
T		12,65519		15,18001	7,226247
d		0,95		0,95	0,95
f		54		44	46
t		2,01		2,01	2,01
t-toets		beter		beter	beter

13d max #p 6

b2e	g3	v3c	v3e
0	5	2	4
0	1	0	3
0	2	2	3
2	1	2	2
0	0	2	3
1	0	2	0
1	1	2	3
1	1	2	0
0	1	0	0
0	2	2	3
0	2	0	2
1	1	1	0
0	0	2	3
0	1	2	0
1	0	2	0
0	0	2	2
1	2	2	2
0	1	2	0
1	1		2
1	0		3
5	0		
1	2		
1	1		
1	0		
1	0		
0	1		
2	0		
1	0		
6	6	6	6
28	28	18	20
0,785714	1	1,611111	1,75
1,031258	1,118034	0,777544	1,409554
13,1%	16,7%	26,9%	29,2%
	0,206984	0,194706	0,25751
	-3,87365	-14,032	-12,7904
	0,95	0,95	0,95
	54	44	46
	2,01	2,01	2,01
	minder	minder	minder
0,206984		0,205303	0,265266
3,873648		-9,85282	-9,65724
0,95		0,95	0,95
54		44	46
2,01		2,01	2,01
beter		minder	minder

14a max #p 4

b2e	g3	v3c	v3e
1	4	4	4
0	4	0	4
1	0	0	0
1	0	0	0
0	0	0	0
0	1	0	4
0	0	0	0
1	1	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
0	4	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
0	4	0	4
3	0	0	0
0	1		0
0	0		0
1	1		
0	1		
0	4		
0	0		
0	0		
0	0		
0	0		
1	4		
4	4	4	4
28	28	18	20
0,321429	1,041667	0,222222	0,8
0,669636	1,601064	0,942809	1,641565
8,0%	26,0%	5,6%	20,0%
	0,236166	0,174337	0,261399
	-11,411	1,883595	-6,2534
	0,95	0,95	0,95
	54	44	46
	2,01	2,01	2,01
	minder	gn verschil	minder
0,236166		0,280109	0,338094
11,41097		9,683409	2,441478
0,95		0,95	0,95
54		44	46
2,01		2,01	2,01
beter		beter	beter

14b max #p 4

b2e	g3	v3c	v3e
1	4	4	4
0	3	0	4
1	1	0	0
1	1,5	0	0
0	1	0	0
0	1	0	4
0	0	0	0
0	1	0	0
0	0	0	0
1	1	0	0
0	4	0	0
0	4	0	0
0	0	0	0
0	3	0	0
0	0	0	4
0	0	0	0
0	4	0	0
0	1	0	0
0	1		0
0	0		0
2	1		
0	1		
0	4		
0	0		
0	0		
0	1		
0	1		
0	4		
4	4	4	4
28	26	18	20
0,214286	1,586957	0,222222	0,8
0,498675	1,527417	0,942809	1,641565
5,4%	39,7%	5,6%	20,0%
	0,222818	0,160791	0,252957
	-22,6196	-0,16338	-7,90883
	0,95	0,95	0,95
	52	44	46
	2,01	2,01	2,01
	minder	gn verschil	minder
0,222818		0,276969	0,338034
22,61963		16,06992	7,827325
0,95		0,95	0,95
52		42	44
2,01		2,01	2,01
beter		beter	beter

14c max #p 6

b2e	g3	v3c	v3e
0	5	6	3
2,5	6	6	3
6	4	3	2
6	4	3	3
2,5	6	6	0
2	4	2	6
2	6	3	6
1	6	0	6
0	6	3	2
1	4	6	3
1	1	3	2
0	0	6	3
0	2	3	2
0	4	3	2
0	2	1	4
0	5	6	2
0	2	1	6
3	6	6	2
3	0		6
2	0		2
6	3		0
3	3		0
1	6		
2	0		
0	2		
0	3		
0	0		
4	2		
6	6	6	6
28	28	18	22
1,714286	3,590909	3,722222	2,954545
1,93615	2,108014	2,052418	1,96341
28,6%	59,8%	62,0%	49,2%
	0,389501	0,425363	0,398007
	-18,0274	-15,6252	-10,9377
	0,95	0,95	0,95
	54	44	48
	2,01	2,01	2,01
	minder	minder	minder
0,389501		0,443543	0,4158
18,02737		-0,97996	5,371879
0,95		0,95	0,95
54		44	48
2,01		2,01	2,01
beter		gn verschil	beter

bijlage 5 scores per leerling per niveau

1. novice eenvoudig		1ab 2ab 3ab 5ab 7a b2e norm	b2c	g2a
		16	14,5	16
		7	11	16
		14	15	17
		12	8	15,5
		10	10	13
		14	8	12,5
		10	12	16
		11	7	8
		0	13	17
		14	7,5	16
		10	16,5	12
		15	15	18
		7	12	14
		2	4,5	16
		13	12,5	6
		11	16	15
		7	11	17
		14	6	15
		14	9	8
		13	9	8
		16	14	15
		10		
		16		
		10		
		1		
		4		
		14		
		15		
max #p		18	18	18
n		28	21	21
X		10,71429	11,02381	13,85714
stdev		4,601587	3,458599	3,514765
vergelijk	b2e	59,5%	61,2%	77,0%
S			0,839662	0,84461
T			-1,27697	-12,8902
d			0,95	0,95
f			47	47
t			2,01	2,01
t-toets			gn verschil	minder
S	g3			
T				
d				
f				
t				
t-toets				

2ab 5ab

b2e norm	b2c	g2a	g3 norm	v3c	v3e
6	6,5	8	8	6	8
4	4	6	6	4	8
8	8	7	8	7	4
4	4	8	4	8	8
3	6	6	8	8	8
8	4	6	6	8	8
6	5	8	8	4	8
8	0	4	8	4	4
0	6	8	8	6	6
8	2	8	3	8	4
7	6,5	8	8	3	6
7	6	8	8	8	6
6	7	4	8	4	4
1	0,5	8	8	3	4
8	6,5	2	8	4	2
6	8	8	4		8
4	5	8	6		8
7	3	5	8		8
6	0	2	6		6
8	4	2	4		6
8	8	8	4		8
6			8		4
7			8		
4			1		
0			4		
2			7		
8			6		
8			8		
8	8	8	8	8	8
28	21	21	28	15	22
5,642857	4,761905	6,285714	6,464286	5,666667	6,181818
2,541715	2,51803	2,23926	2,008909	2,023669	1,942908
70,5%	59,5%	78,6%	80,8%	70,8%	77,3%
	0,521879	0,494106	0,440875	0,507398	0,461772
	5,847545	-4,50698	-6,97137	-0,14665	-4,09671
	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
	47	47	54	41	48
	2,01	2,01	2,01	2,01	2,01
	beter	minder	minder	gn verschil	minder
0,440875	0,469862	0,438809		0,445327	0,403387
6,97137	12,55097	1,409702		5,597668	2,457832
0,95	0,95	0,95		0,95	0,95
54	47	47		41	48
2,01	2,01	2,01		2,01	2,01
beter	beter	gn verschil		beter	beter

2. novice moeilijk		6 8a 9ab 10ab 11ab 12a		6 8a		6 8a 10ab 12a	
	b2e		b2e norm	b2c	g2a	b2e norm	g3 norm
som			5	4	2	10,5	11
			0	0	5	2	10,5
			5	4,5	0	11	11
			3	3	4	12	12
			3,5	2	4	8	9
			5	2	5	12	11,5
			5	2	4	11	11
			5	5	2	6	11
			0	5	5	0	9
			5	5	5	13	12
			5	5	5	5	9
			2	5	5	4	12
			0	2	5	0	7
			0	0	5	2	8
			4,5	5	2	5,5	11
			3	3,5	4	3,5	4,5
			3	2	4	10	5,5
			4,5	2	3	7,5	7,5
			5	2	3	9	5
			5	3	2	11	11
			4	2	4	12,5	11
			4,5			9,5	13
			5			6	10
			3			9	8
			0			2	7
			2			1	2
			5			13	8
			5			12,5	13
som	441,5						
max #p	700	6 8a 9ab 10ab 11ab 12a	5	5	5	14	14
n			28	21	21	28	28
X			3,464286	3,047619	3,714286	7,446429	9,303571
stdev			1,895065	1,634815	1,419255	4,304045	2,753245
vergelijk	b2e	63,1%	69,3%	61,0%	74,3%	53,2%	66,5%
S				0,365067	0,345351		0,69529
T				3,953723	-2,50767		-9,99409
d				0,95	0,95		0,95
f				47	47		54
t				2,01	2,01		2,01
t-toets				beter	minder		minder
S	g3						
T							
d							
f							
t							
t-toets							

6 8a
10ab

b2e norm	g3 norm	v3e
9,5	9	9
0	5	10
10	9,5	5
8	7,5	10
6,5	5	8
10	6,5	10
10	7	5
5	10	8
0	10	10
10	10	5
5	10	10
2	10	8
0	5	8,5
0	2,5	8
4,5	10	6,5
3	3,5	8
8	2	10
7,5	4,5	5
8	2	10
10	8	10
9	7	10
6,5	5	9
6	5	
6	1	
0	1	
2	0	
10	0	
9,5	5	
10	10	10
28	28	22
5,928571	5,75	8,318182
3,698634	3,359619	1,880637
59,3%	57,5%	83,2%
	0,679964	0,5989
	0,982631	-14,0048
	0,95	0,95
	54	48
	2,01	2,01
	gn verschil	minder
0,679964		0,555725
-0,98263		-16,2208
0,95		0,95
54		48
2,01		2,01
gn verschil		minder

6 10ab

b2e norm	g3 norm	v3c	v3e
6	8	8	7
1,5	8	7,5	8
6	8	7	3
8	7	3	8
7	6	8	8
6,5	7,5	7,5	8
8	8	3	3
5	8	3	6
0	8	3	8
6	8	3	5
5	7	2,5	8
0	8	8	6
0	6	7	6,5
0	5	8	6
2,5	8	6	4,5
2	2,5		6
6	3		8
7,5	5,5		3
6	3		8
6	8		8
8	6		8
4,5	8		8
5	8		
7	4		
0	4		
0	1		
6	3		
7,5	8		
8	8	8	8
28	28	15	22
4,535714	6,232143	5,633333	6,545455
2,90889	2,179374	2,356349	1,812057
56,7%	77,9%	70,4%	81,8%
	0,494625	0,584641	0,494663
	-12,8329	-5,86749	-14,2605
	0,95	0,95	0,95
	54	41	48
	2,01	2,01	2,01
	minder	minder	minder
0,494625		0,501268	0,409095
12,83286		3,73344	-2,68818
0,95		0,95	0,95
54		41	48
2,01		2,01	2,01
beter		beter	minder

3. expert eenvoudig

	2c 3c 4ab 7b 8bc 12bc	3c 4ab 7b 8b		
	b2e	b2e norm	b2c	g2a
	13,5	6	4,5	9
	13	3	8,5	6,5
	12,5	9	5	8
	14	4,5	8	4
	8,5	4	2	10
	15	7	8	8,5
	7,5	3,5	2,5	3
	6	3	4	5
	2	0	3,5	6
	7	5	4,5	7
	7	4	5	8
	5	5	7	8
	4	1	3,5	6
	1	1	2	9
	5	4	6	2
	4	2	5,5	7
	9,5	4	3,5	9
	4	4	2	8
	6	6,5	6	6
	6,5	3	4	2
	18,5	10	9	8
	7	3		
	10	4		
	6,5	5		
	10	1		
	1,5	3,5		
	15	10		
	18,5	8		
max #p	22	11	11	11
n	28	28	21	21
X	8,5	4,428571	4,952381	6,666667
stdev	4,878145	2,595275	2,178903	2,325582
vergelijk	38,6%	40,3%	45,0%	60,6%
S			0,494288	0,508309
T			-3,671	-15,2525
d			0,95	0,95
f			47	47
t			2,01	2,01
t-toets			minder	minder

S	g3
T	
d	
f	
t	
t-toets	

2c 8bc

b2e norm	g3 norm	v3e
2,5	2	3
2	1	4
4,5	2	1
0	2	0
2	0	2
3	4	0
0	2	2
0	4	0
0	1	1
2	0	3
0	2	4
0	4	1
0	2	0
0	2	3
0	0	1
0	0	1
0,5	3	0
0	2	4
2	1	0
0,5	1	0
3,5	3	2
0	2	2
0	2	
0,5	0	
0	4	
0	0	
4	2	
4,5	0	
6	6	6
28	28	22
1,125	1,714286	1,545455
1,555308	1,329359	1,438494
18,8%	28,6%	25,8%
	0,278427	0,305786
	-7,91914	-4,82622
	0,95	0,95
	54	48
	2,01	2,01
	minder	minder
0,278427		0,282712
7,91914		2,096106
0,95		0,95
54		48
2,01		2,01
beter		beter

2c 8bc 12c

b2e norm	g3 norm
6,5	5
5	4
4,5	6
4	6
2	4
7	8
0	6
0	7
0	4
4	1
0	6
0	7
0	6
0	5
0	3
0	0
3,5	7
0	5
2	1
0,5	1
7,5	3
0	6
0	6
0,5	3
3	7
0	0
4	2
8,5	3
10	10
28	28
2,232143	4,357143
2,743619	2,328794
22,3%	43,6%
	0,489723
	-16,2358
	0,95
	54
	2,01
	minder

4.expert - moeilijk		13bd 14abc b2e norm	g3 norm	v3c	v3e
		7,5	24	18	21
		2,5	19	6	18
		13	12	7	6
		15	11,5	7	9
		5,5	12	10	7
		8	12	6	14
		4	7	6	13
		8	15	6	6
		0	12	5	2
		2	12	10	10
		1	12	3	10
		3	14	9	7
		0	2	11	9
		1	13	7	6
		6	7	7	12
		0	5	10	4
		6	17	5	16
		6	13	10	2
		6	8		12
		8	0		9
		20	10		
		6	13		
		2	20		
		8	5		
		2	2		
		0	5		
		4	1		
		11	16		
max #p		26	26	26	26
n		28	28	18	20
X		5,553571	10,69643	7,944444	9,65
stdev		4,850237	5,927555	3,333823	5,050013
vergelijk	b2e	21,4%	41,1%	30,6%	37,1%
S			1,042262	0,887273	1,032383
T			-18,4626	-8,91939	-13,5531
d			0,95	0,95	0,95
f			54	44	46
t			2,01	2,01	2,01
t-toets			minder	minder	minder
S	g3	1,042262		1,025253	1,148142
T		18,46255		8,884876	3,11306
d		0,95		0,95	0,95
f		54		44	46
t		2,01		2,01	2,01
t-toets		beter		beter	beter