

kend uit De Cocksdorp, lieten Robben en het vogelleven zien. Vanuit een vlet werden ook deze toeristische activiteiten bestudeerd. Daarvan hadden gelukkig noch de Robben, noch de vogels enige overlast. Vanaf het dek van zo'n schip kan het publiek met kijkers het dierenleven waarnemen en genieten van wind, zon en water en wolken. Door de dieptegang van zo'n schip kunnen en behoeven zij ook niet bij de rand van de banken te komen. Overlast en verstoring treedt echter wel

op door het gedrag van enkelingen, bijvoorbeeld als op kalme dagen vanuit zeewaardige jachten snelle, razend voortschietende raceboten worden losgelaten. Zeker, doordat de Zeehonden na de tweede wereldoorlog tot beschermd jachtwild werden verklaard en dank zij de bewaking door schepen en bemanningen van de Rijkspolitie te water is nu de Nederlandse populatie van Zeehonden wel veilig te noemen. Om echter Thijssse's woorden te gebruiken: „Er blijft nog veel te doen”.

## Een ijsbreker op tafel

B. J. D. MEEUSE.

Het klinkt misschien vreemd, maar zo af en toe komen er op mijn kamer op ons Botanisch Laboratorium V.I.P.'s op bezoek, oftewel *very important persons*, lieden die geld weg te geven hebben voor onderzoekingen, en die je dus een beetje te vriend moet houden. Natuurlijk is zo'n situatie in principe altijd wat pijnlijk; het grote probleem is wel om de aanvankelijk stroeve conversatie op gang te brengen. Maar..... niet voor niets heb ik Machiavelli's „Il Principe” gelezen! Met duivelse berekening is dus midden op mijn schrijftafel een oud, droog, goed met metaalgaas afgedekt aquarium neergezet, met alleen wat zand, papierkrullen en droge gerst erin, en als enige bewoner een exemplaar van een kangeroerat. Wat de overdag aantredende bezoeker ziet is een proper fris gekleurd, muisachtig diertje dat in een klein holletje aan de oppervlakte van de zandlaag heerlijk ligt te slapen, meestal op zijn zij opgerold, met de neus in de vacht en de lange, in een pluim eindigende staart haast cirkelvormig om zich heen.

De doorsnee V.I.P. komt dan, bijna zonder mankeren, over de brug met drie vragen: Wat voor een charmant beestje is dit? Waarom staat er geen bakje met drinkwater in de kooi? En waarom (dit na enige aarzeling) is er niets te bespeuren van de onaangename lucht die men zo licht met muisachtig gedierte associeert?

Ik vertel hem dan dat hij een kangeroerat voor zich heeft (fig. 1), een lid van

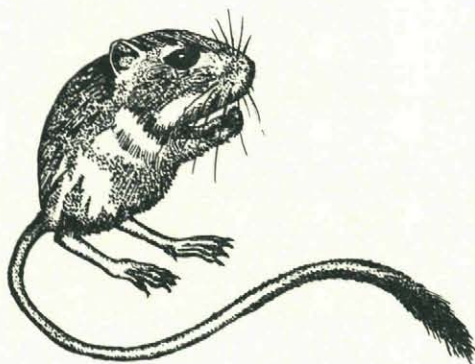


Fig. 1. De held van het verhaal: *Dipodomys ordii*.





Fig. 2. Een fouragerende kangeroerat heeft wel iets van een eekhoorn weg.

het Noordamerikaanse geslacht *Dipodomys*, dat 21 soorten in de Verenigde Staten en Mexico omvat; maar om alle misverstand en vooroordeel bij voorbaat uit te sluiten voeg ik er in één adem aan toe dat de naam rat heel ongelukkig gekozen is en dat onze *Dipodomys* veel dichter staat bij de algemeen geliefde chipmunks, kleine Amerikaanse aardeekhoortjes. De Latijnse naam *Dipodomys* betekent letterlijk „tweevoetmuis”; de bedoeling is natuurlijk om aan te geven dat de leden van het geslacht *Dipodomys* gewoonlijk alleen maar gebruik maken van de achterpoten om zich voort te bewegen; ze huppen echt als kangeroes (waarover straks een heleboel meer). Heel typisch zijn ook de wangzakken van *Dipodomys*, die geheel verschillend zijn van die van andere knaagdieren; het zijn nl. geen delen van de mondholte maar uitwendige zakken, instulpingen dus, van binnen bekleed met vacht! Deze wangzakken zitten aan weerszijden van de mond en zetten zich naar achteren toe vrij ver in het gebied van de hals voort, ze hebben dus een heel be-

hoorlijke capaciteit. Een kangeroerat die aan het fourageren is gebruikt zijn heel korte voorpootjes net zoals een eekhoorn dat doet (fig. 2) en propt zijn wangzakken snel vol met allerlei zaden. Meestal zijn dat graszaden, maar zaden van reigersbek, lepelblad en kleine teunisbloemsoorten worden door verschillende soorten toch ook niet versmaad. Hierna springt onze vriend op zijn achterpoten snel naar zijn hol. De zaden worden óf daarin opgeslagen, óf in een aantal kleine, ondiepe holletjes in de buurt, niet veel meer dan kuiltjes die tevoren met de voorpootjes zijn uitgegraven. De wijze van opslaan hangt af van de *Dipodomys*-soort waarmee je te maken hebt. Is dat een „holletjesgraver”, dan kun je heel leuk zien dat de wangzakken worden leeggemaakt door snelle voorwaartse vegen met de voorpoten tegen de kanten van het gezicht.

Het resultaat is dat de zaden op koddige, machinegeweerachtige wijze de holletjes worden ingeschoten, razend snel. Ik heb de indruk dat kangeroeratten dit zaden-schieten ook wel toepassen als verdedigingsmiddel, in ieder geval doen ze het als ze in angst zitten: vang je de beestjes nl. in eenvoudige vallen of dozen met haver-mout als lokaas, dan is het helemaal niet ongewoon dat je, bij het controleren, op een „straal” droge haver-mout wordt vergast, met een heel verrassend en verwarrend effect!

Kangeroeratten zijn typische bewoners van droge en zelfs woestijnachtige streken en worden dus gevonden in noordelijk Mexico en de zuidwestelijke Verenigde Staten (Nieuw Mexico, Arizona, Californië en Nevada). Het verspreidingsgebied van *Dipodomys ordii*, de soort waarvan ik een exemplaar op mijn tafel heb staan, reikt echter van Mexico ver naar het noorden, tot zelfs in Canada toe,



zoals op ons kaartje (fig. 3) te zien is. Zo komt het, dat je zonder al te veel moeite *Dipodomys*-schedeltjes kunt vinden in het droogste deel van onze eigen staat Washington, bv. in het gebied van lage zandduintjes dat bekend staat als „Wallula Gap”; daar komt ook het schedeltje vandaan dat we in fig. 7 hebben afgebeeld.

Wat het gebrek aan drinkwater in de kooi betreft, het antwoord is dat onze *Dipodomys* het weken lang zonder vloeibaar water kan uithouden. Bij onderzoek blijkt dat dat *niet* komt doordat een kangeroerat een of ander reservoir in zijn lichaam heeft met water waarop het dier in slechte tijden teren kan. Hoe levert *Dipodomys* het hem dan? Het is immers waar dat levende cellen, om goed te kunnen functioneren, altijd water nodig hebben, en *Dipodomys*-cellen zijn stellig geen uitzondering op deze regel. Zee: juist, maar... in de waterbehoefte van cellen kan soms grotendeels worden voorzien door zg. metabolisch water of stofwisselingswater, gevormd bij de verbranding van voedsel. Zo levert een gram koolhydraat bij volledige verbranding 0.6 gram water op, een gram vet zelfs 1.1 gram. Voor eiwitten ligt de zaak wat ongunstiger, omdat een deel van de daarin voorkomende waterstof niet in water kan worden omgezet, maar het zoogdierlichaam tenslotte verlaat in gezelschap van de eiwitstikstof, als ureum. Zo levert 1 gram eiwit bij volledige verbranding in het lichaam maar 0.3 gram water op. Hiertegenover staat dan echter weer, dat de meeste voedsels (ook zg. „droge voedsels”) al vóór de verbranding wat water bevatten, tot zich getrokken uit de lucht. Zo vonden Knut en Bodil Schmidt-Nielsen bij uitvoerige onderzoeken over de waterhuishouding van *Dipodomys merriami* dat een hoeveelheid pa-

relgort die na grondig drogen 100 gram weegt, bij een relatieve luchtvochtigheid van 50 percent ongeveer 13 gram water vasthoudt. Deze zelfde hoeveelheid parelgort (waarop, tussen twee haakjes, een kangeroerat 5 weken kan leven) levert bij verbranding nog eens een extra 54 gram op; in totaal krijgt het dier dus 67 gram water uit dit voorraadjie. Toch is dit nog altijd maar een heel klein beetje! Het is daarom maar goed dat er nog een paar andere zaken in het spel zijn: ten eerste weet het organisme van de kangeroerat het klaar te spelen om *waterv verliezen* tot een ongelofelijk laag minimum te beperken, en verder werkt het *gedrag* van het beestje ook precies in de goede richting. Laten we dit eens nader bekijken!

In het algemeen heeft bij zoogdieren watervlies plaats op 5 manieren, nl. door zweten; door afgifte in urine; met de faeces; door verdamping aan het lichaamsoppervlak (vooral door de longen, die een groot inwendig oppervlak vormen); en tenslotte bij de vrouwtjesdieren in de tijd dat ze jongen hebben, met de moedermelk. Over dat laatste punt behoeven we hier

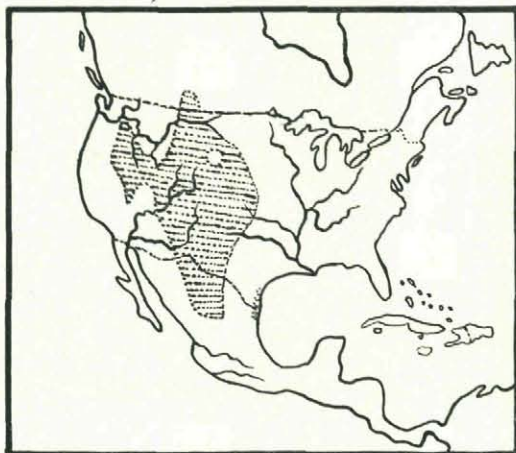


Fig. 3. Verspreidingsgebied van *Dipodomys ordii* in Noord-Amerika.



gelukkig niet veel te zeggen, want het treft zó dat de tijd van jongen-krijgen altijd netjes samenvalt met het regenseizoen; de vrouwtjes kunnen dan gemakkelijk in haar verhoogde waterbehoefte voorzien door zich te goed te doen aan sappige, groene plantedelen. Op zichzelf is dit overigens ook een prachtige aanpassing aan de levensomstandigheden.

Wat de andere punten betreft, zweetklieren ontbreken (althans bij *Dipodomys merriami*) volkomen. De ontlasting is zo droog, dat het watergehalte ervan maar een vijfde is van dat in de faeces van echte laboratoriumratten (*Rattus norvegicus*). De urine is twee maal zo geconcentreerd als die van de laboratoriumrat, vier maal zo geconcentreerd als die van de mens; het ureumgehalte kan dus oplopen tot 24 percent! Men kan dit ook zo stellen dat een kangeroerat voor het uitscheiden van een bepaalde hoeveelheid ureum maar een kwart van de waterhoeveelheid nodig heeft die een mens daarvoor behoeft. *Dipodomys*-urine is dus ook veel geconcentreerder dan zeewater. Drinkt een mens, bijvoorbeeld een wanhopige schipbreukeling, zeewater, dan is dit meestal spoedig fataal, daar het tot een onduidbare wateronttrekking aan de weefsels leidt. Een kangeroerat daarentegen kan het strafeloos doen! Men kan zich hiervan heel gemakkelijk overtuigen door een kangeroerat op een dieet van sojabonen te zetten, die zijn nl. zo eiwitrijk dat het beestje een heleboel ureum vormt; om dit giftige produkt op zo gunstig mogelijke wijze met de urine kwijt te raken moet *Dipodomys* dan wel drinken. Maar — men kan hem dan gerust zeewater voorzetten, zijn nieren zijn volkomen bij machte om zowel met het ureum als met de zouten uit het zeewater af te rekenen! Bij mijn beste weten is er geen enkel ander landdier dat

ongestraft zoiets kan doen. Ongetwijfeld is het aan de droogte van faeces en urine toe te schrijven dat een *Dipodomys*-kooi helemaal niet onaangenaam riekt; het aquarium op mijn tafel heeft, hoewel ik het een vol jaar lang niet heb schoongemaakt, een beetje de geur van poederchocola, dat is alles. Werkelijk, een gemakkelijker huisdierje kan men zich eenvoudig niet voorstellen!

Wat het waterverlies door verdamping in de long- en neuskeelholte betreft, bij proeven in kurkdroge lucht bleek dat dit bij *Dipodomys* maar 60 % is van dat bij de laboratoriumrat, het verschillende lichaamsgewicht in aanmerking genomen. Het is, op die basis berekend, ook maar 60 % van het verlies bij de mens. Het rechte weet men van deze zaak nog niet, al is wel eens geopperd dat er een herabsorptie van waterdamp zou optreden in de waarlijk labyrintachtige neusholten.

Laten we nu eens, voor een *Dipodomys*, die een hoeveelheid gort van 100 gram drooggewicht consumeert, bij verschillende graden van luchtvochtigheid de balans opmaken tussen de totale hoeveelheid ter beschikking komend water aan de ene kant, en het totale waterverlies door verschillende oorzaken aan de andere. (Alle hier volgende gegevens zijn ontleend aan het werk van de Schmidt-Nielsens). We vinden dan voor kurkdroge lucht (relatieve vochtigheid 0 %) een waterproduktie door verbranding van voedsel van 54 gram, een verlies van 61 gram (14 gram in de urine, 3 in de faeces en 44 gram door verdamping). Deze toestand zou dus zelfs door *Dipodomys* niet lang verdragen kunnen worden. Maar bij een relatieve luchtvochtigheid van 50 % (die toch voorwaar nog niet bijster hoog mag worden genoemd) vinden we, zoals we al eerder aangaven, dat er in het voedsel potentieel



67 gram water aanwezig is, terwijl het totale onvermijdbare verlies nu maar 43 gram bedraagt. Onder deze omstandigheden is er dus geen vuiltje aan de lucht. De relatieve luchtvochtigheid waarbij wateropname en -afgifte precies met elkaar in evenwicht zijn, ligt (bij een temperatuur van  $24^{\circ}\text{C}$ ) bij ongeveer 10 tot 20 %; de lucht bevat dan maar 2 tot 3 mg water per liter. Nu is het waar dat in de woestijnen waar de kangeroeratten leven de luchtvochtigheid wel eens tot beneden deze waarde daalt — althans overdag. Maar..... nu blijkt de grote betekenis van de gedragscomponent van *Dipodomys*! Hij gaat nl. alleen maar 's avonds en 's nachts op fourage uit, en blijft overdag rustig in zijn ondergrondse hol, waarvan hij de verschillende openingen netjes van binnenuit afsluit. De relatieve vochtigheid in het hol is dus vrij hoog (7 tot 15 mg waterdamp per liter), iets dat de Schmidt-Nielsens op heel elegante manier hebben kunnen aantonen door aan de staart van kangeroeratten zelfregistrerende haarhygrometers te bevestigen. Verder hebben kangeroeratten de gewoonte om te slapen met de neus in de vacht gedrukt (hetgeen bij mijn eigen exemplaar heel goed te zien is!); op die manier vormt zich rondom die neus een klein „zakje” van vochtige lucht waaruit maar heel weinig waterdamp ontsnapt. Alles bij elkaar genomen schijnt het zo te zijn dat kangeroeratten eerder van kou te lijden hebben, in winter en lente, dan van warmte en droogte in de zomer. Slechts heel zelden komt het voor dat ze een nood-koelsysteem in werking moeten stellen. Ze doen dat nl. alleen als hun lichaamstemperatuur boven de  $40^{\circ}$  dreigt te komen. Er wordt dan een overvloedige speekselvloed geproduceerd die, uitgespreid over onderkaak en keel, door verdamping de temperatuur omlaag brengt.

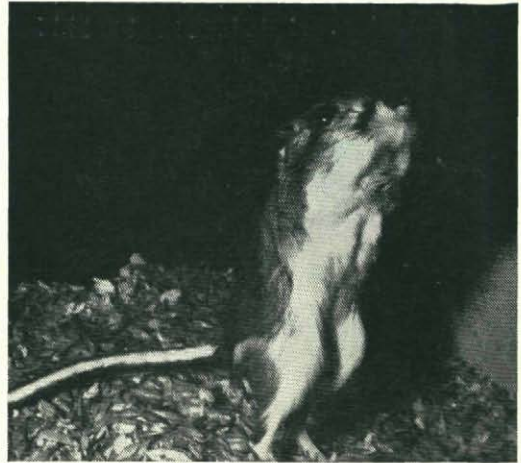


Fig. 4. De staart kan als stelt worden gebruikt.

Eigenlijk een zelfde soort truc als een hond toepast die met zijn tong uit zijn bek ligt de hijgen!

Wanneer ik deze zaken zo'n beetje aan mijn bezoekers heb uitgelegd, zijn ze meestal wel zover ontdooid dat ik hen er toe brengen kan om eens aan het gaas te krabben dat het aquarium afdekt. Soms gebeurt het dan wel, dat mijn *Dipodomys* wakker wordt en rechtop gaat staan om de mensenvinger te besnuffelen. De uitroepen van bewondering zijn dan niet van de lucht, want je kunt werkelijk prachtig zien dat het beestje zijn staart als een soort stelt gebruikt; het lichaam rust volkomen stabiel op een driepoot (fig. 4)! Zo'n *Dipodomys*-staart, die een flink stuk langer is dan het lichaam en een duidelijke „vlag” van vrij lange haren aan het eind draagt, is werkelijk een fantastisch nuttig orgaan, dat er op geconstrueerd schijnt te zijn om het dier *onder alle omstandigheden* zijn evenwicht te laten bewaren. Licht onze vriend *Dipodomys* maar eens een eindje van de grond, keer hem ondersteboven (rug naar de grond)



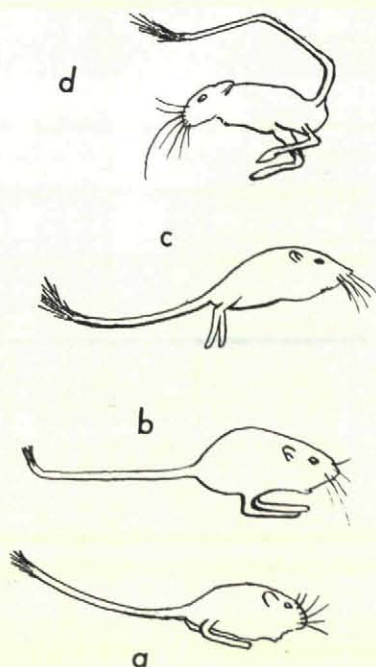


Fig. 5. Een kangeroerat bij het springen.

en laat hem dan vallen. De staart slaat als een dorsvleugel in het rond en het beestje komt zonder uitzondering op zijn pootjes terecht! Soms ook vraag ik een bezoeker om het beestje alleen maar ondersteboven te houden zonder het los te laten. Begint *Dipodomys* nu alvast met zijn staart in het rond te slaan (wat nog al eens gebeurt), dan kun je nl. heel duidelijk de reddende roterende beweging van de romp voelen die er het gevolg van is! De vlag werkt kennelijk als een roer. Kijk om U daarvan te overtuigen alleen maar eens naar onze figuren 5a, b, c en d, die gebaseerd zijn op foto's en tekeningen welke ik vond in een oud maar nog steeds voortreffelijk artikel van Bartholomew en Caswell. Fig. 5b toont een kangeroerat die aan het schrikken gemaakt is en zich met krachtige, onregelmatige zigzagsprongen — van soms meer dan an-

derhalve meter — uit de voeten maakt. Duidelijk is te zien dat de staart vrijwel helemaal stijf gehouden wordt en één lijn vormt met de lichaamsas; de vlag vormt hierop echter een uitzondering en lijkt haast naar boven omgeknakt! Fig. 5d toont een andere sprongreactie van *Dipodomys*, net als de vorige ongelofelijk nuttig. Vaak gaat deze reactie aan die van fig. 5a, b en c vooraf. Bespeurt nl. een *Dipodomys* plotseling onraad (bv. wanneer hij een schaduwlijn nadert die over het zand van zijn kooi ligt), dan is zijn eerste reactie een heel abrupt en bijna zuiver loodrecht opspringen, soms tot een hoogte van wel twee voet! Dit kan een paar maal worden herhaald, heel snel en het kan welhaast niet anders of het brengt eventuele vervolgers (roofvijanden) danig in de war. Maar er is nog een ander voordeel. In sommige streken bereikt *Dipodomys* een behoorlijke bevolkingsdichtheid, en het gevaar van botsingen met soortgenoten is dus bij de fourageertochten helemaal niet denkbeeldig. Maar wat doet nu een op de grond zittende of langzaam voortschuifelende kangeroerat die plotseling een collega met pijlsnelle vaart door de lucht op zich af ziet komen? Op het allerlaatste moment, net wanneer een botsing onvermijdelijk schijnt, schiet hij doodgemeedereerd even omhoog.

Bartholomew en Caswell hebben kunnen aantonen dat een staartloos dier er haast niet toe te brengen is om grote sprongen te wagen; zij kregen eigenlijk maar één *Dipodomys* zo ver, en het resultaat was een vreemde, voorwaartse *salto mortale*. Daartegenover kunnen normale dieren zelfs nog tijdens een sprong van richting veranderen. Het prachtige doeltreffende gebruik van de staart, dat daarvan de oorzaak is, kan eigenlijk het beste worden gezien tezamen met een aantal andere ken-



merken; men mag gerust zeggen dat er een heel complex is van logisch verbonden trekken en trekjes, alle samenhangend met de levenswijze en het terrein. Een continue, dekking biedende vegetatie is in de streken waar *Dipodomys* voorkomt nl. haast nooit voorhanden; men vindt er alleen verspreide klompjes gras en andere planten op een vrijwel naakte, open grond. Veel verder dan 15 of 25 meter van zijn hol (of holletjes) waagt *Dipodomys* zich bij het fourageren niet. Wordt hij daarbij plotseling door vijanden belaagd, dan ligt zijn enige overlevingskans hierin dat hij niet alleen snel, maar ook op een volkomen grillige en onvoorspelbare wijze de afstand tot zijn hol aflegt. Een regelmatige en vrij lang volgehouden beweging, hoe snel ook, zou eenvoudig fataal zijn. Vandaar dus de vreemde bokkesprongen! Bovendien moet *Dipodomys* in staat zijn om meteen te starten. In dat verband is het nu weer zaak om even op de plaatsing van de ogen te letten. Net zoals bij een Houtsnip staan die bovenop de kop, met het gevolg dat *Dipodomys* weliswaar niet kan zien wat hij eet, maar een roofvijand in de lucht, zoals een uil, meteen in de gaten heeft. De gevaarlijke fourageerperiode kan tot een minimum worden beperkt, doordat geen kostbare tijd behoeft te worden vermorst met eten; de wangzakken, die zoals we gezien hebben een heel flinke capaciteit hebben, worden snel volgepropt en de terugtocht naar het veilige hol wordt zonder uitstel aanvaard. Met andere woorden, het opzoeken en verzamelen van voedsel en het verorberen ervan worden vrij streng gescheiden gehouden! Bovendien zijn alleen de minuscule voorpootjes en de wangzakken betrokken bij het voedselverzamen; de ogen, de oren en de achterpoten (hier de enige voortbewegingsorganen!) blijven

disponibel en verkeren in een toestand van voortdurende paraatheid.

Het is nu wel overduidelijk dat bij *Dipodomys* stofwisseling en gedrag *allebei* prachtig passen bij de omgeving. Maar het lijkt wel alsof er geen einde komt aan de fantastische aanpassing van kangeroeratten; ook met de zintuigen, of althans met het gehoororgaan, is het merkwaardig gesteld! Ieder, die voor het eerst een *Dipodomys* ziet, moet wel getroffen worden door de relatief grote kop van het dier. Bekijken we een *Dipodomys*-schedel, dan blijkt meteen wat de oorzaak van deze grootkoppigheid is: het volume van de twee papierdunne oorblazen of bullae is aanmerkelijk groter dan dat van de hersenholte. Douglas Webster heeft over de oren van de kangeroerat onlangs een boeiend artikel geschreven („Natural History” februari 1965) dat zich zó logisch bij de rest van ons *Dipodomys*-verhaal laat aansluiten, dat ik de vrijheid zal nemen er hier een en ander uit aan te halen.

Als we er onze boekjes van de middelbare school nog even op naslaan, blijkt dat het typische „middenoor” van de zoogdieren (fig. 6.) een luchtholte is tussen het trommelvlies en het vloeistof bevattende inwendige oor. Deze luchtholte wordt op de plaats waar hij het nauwste is doorkruist door een keten, een brug, van drie minuscule beentjes: hamer, aambeeld en stijgbeugel. Met behulp van bepaalde ligamenten, fijne bandjes, wordt de keten in de juiste positie gehouden, opgehangen en tevens verankerd aan de wand van de bulla. De steel van de hamer zit over bijna zijn gehele lengte vast aan het trommelvlies, terwijl zijn grote kop gewrichtachtig verbonden is met het aambeeld. Dat zit weer vast aan de kop van de stijgbeugel, terwijl de „voetplaat” van dat laatste beentje op zijn plaats wordt ge-



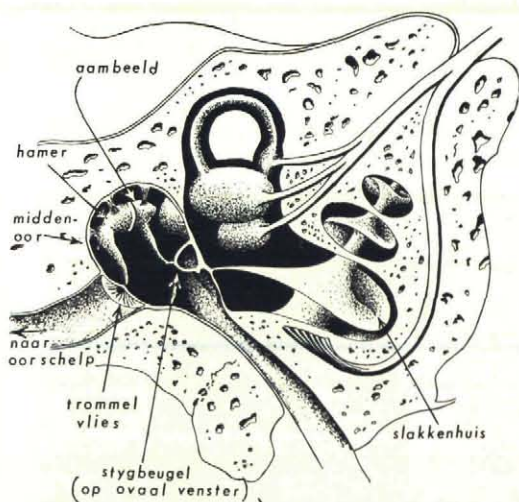


Fig. 6. *Gehoorganen van de mens, enigszins geschematiseerd. In werkelijkheid zit de hamersteel over een deel van zijn lengte aan het trommelvlies vast. Tekening Darryl Grund.*

houden in het zg. ovale venster van het slakkehuis (dat al deel uitmaakt van het inwendige oor) door een fijn ringvormig ligament.

De functie van het door het trommelvlies en gehoorbeentjes gevormde apparaat is tweeledig. Ten eerste moeten de betrekkelijk zwakke *luchttrillingen* die het trommelvlies treffen, als het ware worden verzameld en aan de *vloeistof* van het inwendige oor doorgegeven, maar bovendien moeten die trillingen zodanig worden *versterkt* dat de vloeistoffen van dat inwendige oor in beweging worden gebracht. Voorwaar geen geringe opgaven!

Het is ook geen wonder dat de gehoorbeentjes zijn opgehangen in een *luchtholte*; ieder ander medium zou hun trillingen in zo'n mate dempen dat ze noch als versterkersysteem, noch als doorgeefstelsel zouden kunnen werken!

Met het oog op de versterkerfunctie is het

goed om zich er rekenschap van te geven dat het door trommelvlies en gehoorbeentjes gevormde brugsysteem de eigenschappen van een hefboom en van een hydraulische pers in zich verenigt. De doeltreffendheid van het hefboomsysteem is afhankelijk van de lengteverhouding tussen de slanke hamersteel enerzijds en het veel kortere uitsteeksel van het zo merkwaardig „omgeknikte” aanbeeld anderzijds. Een zwakke kracht, door het trommelvlies op de hamersteel uitgeoefend, komt aan het uiteinde van het aanbeeld versterkt tot uiting, net zoals de zwakke kracht die we uitoefenen op het handvat van een notekraker een frappant effect heeft op de noot, die zich immers op veel kortere afstand van de as (het draaipunt) van de notekraker bevindt! Wat het systeem van de hydraulische pers betreft, van belang is hier de oppervlakteverhouding tussen het trommelvlies en de voetplaat van de stijgbeugel (die in het ovale venster ligt). Hoe groter de waarde van die verhouding, hoe meer de kracht *per eenheid van oppervlakte* wordt verhoogd. Theoretisch is de krachtstoename in het middenoor uiteraard het produkt van de versterking door het hefboommechanisme en die door het hydraulisch-persmechanisme. Een ingenieur zou dat produkt waarschijnlijk aanduiden als de *transformatorverhouding*. Bij de mens vinden we door berekening uit de verschillende afmetingen hiervoor een waarde van 18,3; in werkelijkheid zal de zaak wel iets minder gunstig liggen door traagheid en wrijving. Bij de kangoeroerat vinden we een waarde die ruim vijf maal zo hoog ligt: 97,2! Geen enkel ander zoogdier kan daarbij halen. De oorzaak is dat de hamersteel bij *Dipodomys* uitzonderlijk lang is, en het trommelvlies waaraan hij bevestigd is ongevoelbaar groot; de voetplaat van de stijgbeu-



gel is, aan de andere kant, juist ongewoon klein.

Maar het *Dipodomys*-oor vertoont nog andere bijzonderheden. De gehoorbeentjes zijn veel delicates (bewegelijker) opgehangen dan bij andere zoogdieren, door het ontbreken van bepaalde verankerde ligamentjes. Dit draagt alweer tot de gevoeligheid bij. Ook is het middenoor vooral aan de rugkant van het beestje geweldig vergroot door de aanwezigheid van een luchtholte, die ruim  $\frac{4}{5}$  (= 82%) van het totale middenoorvolume inneemt (fig. 7).

Hoe kan men er nu achter komen wat de functie van deze geweldige luchtholten, links en rechts aan de kop, is? Webster kwam op het lumineuze idee om ze uit te schakelen door ze voorzichtig op te vullen met plasticine, na een eenvoudige en op zichzelf vrij onschuldige operatie. Hij vergeleek nu met elkaar het vermogen van het gehele middenoor om trillingen aan het zg. slakkehuis van het inwendige oor over te brengen, vóór en na de operatie. Dat vermogen kan tegenwoordig op ingenieuze wijze worden getoetst door de elektrische wisselstroompjes te meten die bij geluidspereceptie in de zg. haarcellen van het slakkehuis optreden. De frequentie van de wisselstroompjes komt overeen met die van het geluid dat het middenoor bereikt, terwijl de stroomsterkte direct evenredig is met de intensiteit van dat geluid. Het resultaat van de plasticine-operatie is nu, dat de amplitude van de wisselstroompjes sterk daalt; dit betekent dus dat het oor veel minder gevoelig is geworden! Zowel voor als na de operatie vindt men dat de grootste gevoeligheid ligt bij geluidsfrequenties van ongeveer 1400, 1800 en 2600 trillingen per seconde. Toch is er ook kwalitatief een duidelijke verandering opgetreden: de gevoeligheid voor

deze speciale, lage, frequenties lijdt *relatief* door de operatie nl. vele meer dan die voor andere frequenties.

Dat *Dipodomys* het meest gevoelig is voor geluiden met een frequentie van 1000-3000 (voor lage tonen dus) is zeker merkwaardig, want bij de meeste andere zoogdieren vindt men de maximale gevoeligheid bij veel hogere tonen. Uit de geluidsleer volgt, dat hoe lager de frequentie is, hoe groter de beweging van het trommelvlies. Het is vanzelfsprekend, dat een binnenwaartse beweging van dat vlies een samenpersing veroorzaakt van de lucht in het middenoor; en hoe kleiner het volume van het middenoor, hoe groter de weerstand tegen een (kleine) samenpersing. Als bv. een ruimte van  $2 \text{ cm}^3$  verkleind wordt tot  $1 \text{ cm}^3$ , wordt de druk volgens de wet van Boyle twee maal zo groot. Maar als een ruimte van  $10 \text{ cm}^3$  verkleind wordt met  $1 \text{ cm}^3$ , dan wordt de lucht maar tot  $\frac{9}{10}$  van het oorspronkelijke volume samengeperst, iets dat natuurlijk veel gemakkelijker uit te voeren is. *Een ongewoon grote middenoorholte, die weinig weer-*

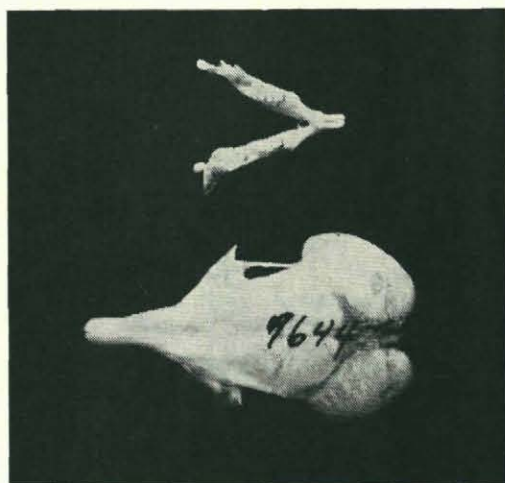


Fig. 7. Schedel van *Dipodomys ordii*, van boven. Ware lengte 34 mm.



stand biedt aan trillingen van het trommelvlies, maakt de overbrenging van geluidsenergie vanaf dat vlies via de gehoorbeentjes, dus wel veel en veel eenvoudiger! En dit komt natuurlijk speciaal van pas bij geluiden van lage frequentie, die immers zoals we gezien hebben relatief grote bewegingen van het trommelvlies te weeg brengen.

Een vraag die men zichzelf natuurlijk direct stelt, als men zich eenmaal goed rekenschap heeft gegeven van de bovenstaande feiten, is: brengen roofvijanden van *Dipodomys* misschien zulke geluiden van lage frequentie voort? De voornaamste natuurlijke vijanden zijn wel uilen en ratelslangen. Uilen jagen met succes in volslagen donker op het gehoor, met behulp van een soort triangulatiemethode (waarop we hier helaas niet kunnen ingaan; wie zich ervoor interesseert leze er het artikel van R. S. Payne en W. H. Drury, Jr. „Marksman of the darkness” in het juni/juli-nummer van *Natural History* 1958 maar eens op na). Een uil luistert dus totdat een klein knaagdier met zijn normale voortbeweging ophoudt en lokaliseert het daarna snel en precies. Ratelslangen hebben vóór aan de kop een speciaal orgaan dat zó uitermate gevoelig is voor temperatuursverandering dat een verschil van  $0,003^\circ$  nog kan worden waargenomen. De menselijke hand kan daardoor in volslagen donker zelfs op een afstand van 30 cm feilloos worden gelokaliseerd, en kleine warmbloedige diertjes zijn beslist niet veel fortuinlijker. De kangeroerat wordt dus 's nachts belaagd door twee voortreffelijk door de natuur uitgeruste vijanden, en kan best wat hulp (in de vorm van speciale „aanpassingen”) gebruiken!

Bij proeven, die Webster in 1959 in Arizona heeft uitgevoerd, is nu inderdaad

gebleken dat uilen noch ratelslangen veel kans maken om 's nachts een gezonde, normale *Dipodomys* te pakken te krijgen. Een uil vliegt vrijwel geruisloos, maar brengt bij het neerduiken op zijn prooi toch een heel flauw, voor ons praktisch onhoorbaar, snorrend geluid voort waarin alle lage frequenties tot en met 1200 (trillingscycli per seconde) vertegenwoordigd zijn. Net op het moment waarop men denkt dat de kangeroerat niet meer ontsnappen kan, springt hij op de „lacionieke” maar spectaculaire manier die ik al eerder weergaf, bijna verticaal een anderhalve voet de lucht in; hij komt meestal op een iets ander punt dan waar hij oorspronkelijk zat weer neer, en maakt zich dan met een serie van meer horizontale zigzagsprongen uit de voeten, waarbij hij echter volstrekt geen overmatige haast betracht! Ratelslangen, en wel de „side-winders” die men zo mooi in actie kan zien in Walt Disney's woestijnfilm, brengen het er al niet beter af dan uilen. Deze reptielen produceren vlak voor ze toeslaan een geluid dat alle frequenties tot en met 2000 c.p.s. omvat — misschien een zwak gesis, een ratelgeluid of zelfs het schuren van hun schubben over het woestijnzand. Het is heel aannemelijk dat een normale *Dipodomys* juist daarop reageert en dus ontsnapt. Kangeroeratten met plasticine in hun gehoorblazen vielen daarentegen vlot ten prooi aan hun roofvijanden, in het geval van de „sidewinder” zelfs bij de eerste de beste aanval.

Samenvattend kan gezegd worden dat de sterke vergroting van de luchtholten van het middenoor het afdempen van trillingen van het gehoorbeentjes-systeem tegengaat; de gevoeligheid voor geluiden wordt dus sterk verhoogd, en wel speciaal in het gebied van de lage geluidsfrequenties. Deze toestand kan alleen maar door natuur-



lijke selectie tot stand zijn gebracht. De twee voornaamste roofvijanden van de kangeroerat, uil en ratelslang, hebben nl. heel speciale zintuigorganen die hen in staat stellen om in volslagen duisternis te jagen. Maar ze brengen ook geluiden van lage frequentie voort. Iedere aanpassing die een kangeroerat in staat stelt om deze geluiden waar te nemen en daardoor in het donker aan zijn vijanden te ontsnappen heeft uiteraard evolutionaire betekenis.

Behalve de kangeroeratten zijn er nog verschillende andere groepen van knaagdieren, en ook sommige insectivoren, die zich min of meer op dezelfde wijze gedragen: de „gerbils“, „jerboa's“ en „springhazen“ van Noord-Afrika en het Nabije Oosten,

de „jirds“ van Mongolië, en de olifantspitsmuizen van Zuid-Afrika. Al deze dieren hebben een middenoor met grote luchtholten, ook al zijn die in detail enigszins verschillend. Alle zijn het nachtdieren, die in droge streken of woestijnen leven, en alle bewegen zich voort op kangeroe-achtige manier. Stellig is dit voorbeeld van overeenkomst in uiterlijk en levenswijze van niet-verwante dieren een van de merkwaardigste gevallen van „convergentie“ die men in de natuur kan tegenkomen. Gelukkig weet men er bij deze miniatuur-kangeroes nog maar heel weinig van, zodat er voor vakbioloog en amateur ook op dit gebied nog veel te onderzoeken overblijft.

#### Bibliografie

- Voor diegenen die nog iets meer over kangeroeratten willen weten geef ik hier het volgende literatuurlijstje, dat overigens volstrekt geen aanspraak op volledigheid kan maken.
- Bartholomew, G. A. & H. H. Caswell Jr. Locomotion in kangaroo rats and its adaptive significance. *Journal of Mammology* 32 (1951), p. 155-169.
- Chew, R. M. Water metabolism of desert-inhabiting vertebrates. *Biological Reviews* 36 (1961), p. 1-31.
- Chew, R. M. & B. B. Butterworth. Growth and development of Merriam's kangaroo rat, *Dipodomys merriami*. *Growth* 23 (1959), p. 75-95.
- Howell, A. B. & I. Gersh. Conservation of water by the rodent *Dipodomys*. *Journal of Mammology* 16 (1935), p. 1-9.
- Miller, A. H. & R. C. Stebbins. The lives of desert animals in Joshua Tree National Monument. University of California Press, Berkeley & Los Angeles 1964: 452 pagina's.
- Schmidt-Nielsen, K. & Bodil Schmidt-Nielsen. Water metabolism of desert mammals. *Physiological Reviews* 32 (1952), p. 135-166.
- & —. The desert rat. *Scientific American* 189 (1953), p. 73-78.
- Schmidt-Nielsen, K., B. Schmidt-Nielsen, A. Brokaw & H. Schneiderman. Water conservation in desert rodents. *Journal of Cellular and Comparative Physiology* 32 (1948), p. 331-360.
- Snedigar, R. Our small native animals, their habits and care. Dover Public. Incorpor., New York; herziene en uitgebreide druk, 1963. Op 27-29 mededelingen over kangeroeratten.
- Webster, D. B. Ears of *Dipodomys*. *Natural History* 74 (1965), p. 27-33.
- . A function of the enlarged middle-ear cavities of the kangaroo rat, *Dipodomys*. *Physiological Zoology* 35 (1962), p. 248-255.

