

Project 505.0046

Ontwikkeling van methoden van onderzoek voor het bepalen van de
stevigheid van tuinbouwprodukten met behulp van akoestische metingen

Projectleider: ir H. Oortwijn

Rapport 90.12

Februari 1990

Oriënterend onderzoek naar het akoestisch
meten van vruchten, in het bijzonder
appels van verschillende rijpingsgraad

ir H. Oortwijn

Afdeling: Sensoriek

Goedgekeurd door: dr H. Herstel

Rijks-Kwaliteitsinstituut voor land- en tuinbouwprodukten (RIKILT)

Bornsesteeg 45, 6708 PD Wageningen

Postbus 230, 6700 AE Wageningen

Telefoon 08370-19110

Telex 75180 RIKIL

Telefax 08370-17717

Copyright 1990, Rijks-Kwaliteitsinstituut voor land- en tuinbouw-
produkten.

Overname van de inhoud is toegestaan, mits met duidelijke bronvermel-
ding.

VERZENDLIJST

INTERN:

directeur
sectorhoofden
produktcoördinator dierlijke produkten
afdelingshoofden
R. Frankhuizen
programmabeheer en informatieverzorging
circulatie
bibliotheek

EXTERN:

Dienst Landbouwkundig Onderzoek
Directie Wetenschap en Technologie
Directie Voedings- en Kwaliteitsaangelegenheden
Directie Akker- en Tuinbouw
prof. A. Prins, Landbouwuniversiteit Wageningen,
vakgroep Levensmiddelentechnologie
ing. J. v. Huet, Katholieke Universiteit Nijmegen, B-Faculteiten,
afdeling Electronica
de heer A.C.R. van Schaik, ATO-Agrotechnologie
de heer E. Koppenaal, ATO-Agrotechnologie
dr W. Jongen, ATO-Agrotechnologie
dr K. Schurer, Technische en Fysische Dienst voor de Landbouw
ir M. Miedema, Informatie en Kenniscentrum AT, afdeling Milieu
Kwaliteit en Techniek
Agralin

INHOUD	<u>blz</u>
SAMENVATTING	3
1 INLEIDING	5
2 MATERIAAL EN METHODEN	5
3 RESULTATEN	8
3.1 Oriënterende metingen aan tomaten en andere vruchten	8
3.2 Metingen aan appels	9
4 CONCLUSIES	11

BIJLAGEN:

TABEL 1 ONDERZOEKSCHEMA RAS ALKMENE

TABEL 2 ORGANOLEPTISCHE BEOORDELING ALKMENE

TABEL 3 VERSCHUIVING BELANGRIJKE PIEK IN RESONANTIESSPECTRA
ALKMENE, 2E PLUK

TABEL 4 VERSCHUIVING BELANGRIJKE PIEK IN RESONANTIESSPECTRA
ALKMENE, 1E PLUK

TABEL 5 VERSCHUIVING BELANGRIJKE PIEK IN RESONANTIESSPECTRA
ALKMENE, 3E PLUK

TABEL 6 RESONANTIEFREQUENTIE EN STERKTE VAN HET SIGNAAL VAN COX

TABEL 7 RESONANTIEFREQUENTIE EN STERKTE VAN HET SIGNAAL VAN ELSTAR

TABEL 8 RESONANTIEFREQUENTIE VAN BOORSELS UIT ELSTAR

FIGUUR 3 LIJNENSPECTRUM ALKMENE

FIGUUR 4 LIJNENSPECTRUM ALKMENE

FIGUUR 5 LIJNENSPECTRUM ALKMENE

FIGUUR 6 RESONANTIESPECTRA, APPELS IN OPSLAG/AAN DE BOOM GERIJPT

FIGUUR 7 RESONANTIESPECTRA VAN DEZELFDE APPEL, VERANDERING NA EEN WEEK

()

()

SAMENVATTING

In een oriënterend onderzoek is nagegaan of er mogelijkheden bestaan om de rijpheid van tuinbouwprodukten met geluidstrillingen te bepalen, er van uitgaande dat de frequentie waarbij lichamen resoneren afhankelijk is van de stevigheid van deze lichamen.

Met een sinusgenerator werden vruchten in trilling gebracht, waarna de trilling met behulp van een laservibrometer werd geregistreerd. Er is nagegaan of de meetopstelling van invloed is op het resonantiepatroon. De resonantiefrequenties worden hierdoor niet beïnvloed, maar wel de intensiteit van de trilling.

Het was aanvankelijk de bedoeling de rijpheid van tomaten te onderzoeken; tomaten zijn echter op deze wijze niet tot resoneren te brengen. Appels resoneren wel. Van enkele rassen is in de loop van de rijping het resonantiegedrag bepaald. Er is een aanzienlijke verschuiving naar lagere waarden van de resonantiefrequenties geconstateerd. Door de ingewikkeldheid van het resonantiespectrum en een soms optredende verandering van de vorm daarvan is het moeilijk deze verschuiving te kwantificeren. Ook is er een duidelijk verschil in resonantiespectra tussen appels die aan de boom en die in opslag zijn gerijpt. Verder zijn er aanwijzingen dat de grootte van de appel de resonantiefrequenties beïnvloedt.

De resultaten van dit onderzoek zijn niet zodanig dat er al een uitspraak gedaan kan worden over de toepasbaarheid van deze methode in de praktijk, maar rechtvaardigen wel het doen van verder onderzoek. Hierbij is echter meer theoretische kennis vereist over de verschillende trillingswijzen die in de appel optreden en over de interferenties hier tussen. Uitbreiding van de apparatuur voor betere registratie en verwerking van de resultaten is daarbij zeer gewenst.

1 INLEIDING

Vanuit de praktijk wordt de vraag gesteld naar snelle, liefst niet destructieve methoden om de rijpheid van vruchten te meten.

Geluidstrillingen kunnen lichamen tot resonantie brengen. De resonantiefrequenties hangen voor een belangrijk deel van de stevigheid van die lichamen af. Aangezien de stevigheid van vruchten sterk verandert in de loop van de rijping is het misschien mogelijk de mate van rijpheid akoestisch vast te stellen, hetgeen non-destructief en snel zou kunnen.

Er is reeds onderzoek verricht naar het resonantiegedrag van appels, waarbij de appels mechanisch tot trilling werden gebracht (1). Hierbij is een verandering van de resonantiefrequenties in de loop van de rijping geconstateerd.

Op de Katholieke Universiteit van Nijmegen is het trillingsgedrag van bladeren onder invloed van geluidsgolven gemeten (2). De hierbij gebruikte apparatuur was beschikbaar om metingen aan vruchten te doen. Een oriënterend proefje met een tomaat is aanleiding geworden tot het doen van nader onderzoek naar het verband tussen rijpheid en resonantiegedrag van tomaten. In de loop van het onderzoek bleek dat tomaten niet echt resoneren maar appels wel, zodat hiermee verder is gegaan.

2 MATERIAAL EN METHODEN

2.1 Tomaten

Tomaten gekocht in de winkel of afkomstig uit de kassen van de instituten SVP respectievelijk IMAG. Deze tomaten (waaronder ook vleestomaten) waren van zeer uiteenlopende rijpheid (groen tot dieprood).

2.2 Appels

Voor oriënterende proeven zijn appels van het ras "James Grieve" gekocht in de winkel. Vervolgens is een proef uitgevoerd met appels van het ras Alkmene geplukt door Van Schaik van ATO-Agrotechnologie in verschillende stadia van rijpheid. Tabel 1 (bijlage) geeft de plukstadia weer, evenals het onderzoek-schema.

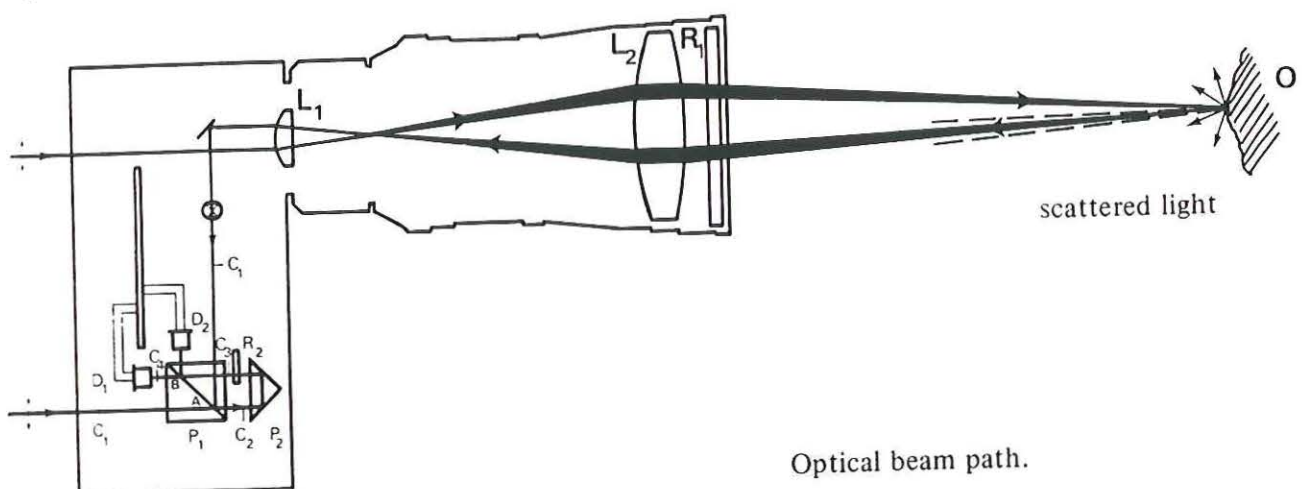
De appels zijn tijdens het onderzoek bij 15°C bewaard in plastic zakken. Akoestisch zijn steeds van iedere partij 10 vergelijkbare appels gemeten.

Tenslotte zijn er appels (Cox en Elstar) gemeten die gebruikt worden in het kader van het onderzoeksproject "De ontwikkeling van objectieve meetmethodieken ter detectie en voorspelling van de stevigheid en meligheid bij appels", een ATO-RIKILT project (project nr. 505.5030). Voor de gegevens van de appels wordt naar genoemd project verwezen.

2.3 Akoestische metingen

De meetopstelling bestaat uit een sinusgenerator die via luchttrillingen de vrucht tot trilling brengt en een laservibrometer die de beweging van een bepaald punt van het oppervlak van de trillende vrucht registreert. Dit gebeurt door een laserstraal op het oppervlak te laten reflecteren (fig. 1), waarbij het Doppler-effect veroorzaakt door de heen en weer gaande beweging van het oppervlak wordt gemeten.

Figuur 1.



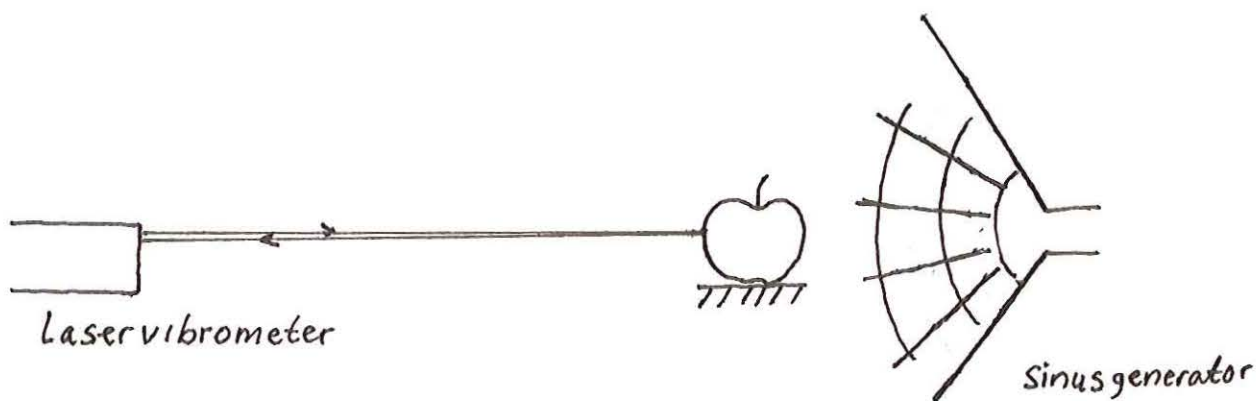
Het uitgangssignaal van de laservibrometer is een sinusvormige spanningscurve waarvan de amplitude (volt) evenredig is met de snelheid van de trillende wand. De maximale amplitude van het signaal is dus evenredig aan de maximale snelheid; dus op het moment dat de trilling door het nulpunt gaat. De maximale uitwijking van de trillende wand is evenredig met:

$$\frac{\text{maximale amplitude van het signaal}}{\text{frequentie van de geluidstrilling}}$$

Het is ook mogelijk door middel van een scanner de beweging van een groot deel van het oppervlak te scannen en dit op een beeldscherm zichtbaar te maken (animatie).

De energieoverdracht van de sinusgenerator via de lucht op de appel is zeer slecht. Verschillende meetopstellingen zijn geprobeerd om een zo sterk mogelijke reactie te krijgen. Uiteindelijk is gekozen voor de meetopstelling volgens figuur 2, waarbij de sinusgenerator zo dicht mogelijk bij de vrucht is geplaatst.

Figuur 2. Meetopstelling



Een ander probleem is de ondersteuning respectievelijk ophanging van de vrucht. In het begin van het onderzoek toen de trilling van tomaten werd gemeten, werd het trillingsgedrag hierdoor sterk beïnvloed. Bij appels was dit veel minder het geval. Belangrijk is dat de ondergrond niet sterk resoneert in het te meten trillingsgebied. De uiteindelijk gekozen ondergrond is een gietijzeren cylinder met daaronder een steen

geplaatst op een houten tafeltje. Over het algemeen zijn de metingen verricht aan hele appels; bij de laatste serie metingen (1989-12-22) zijn radiale boorsels (ϕ 25 mm, $l = 20$ mm) gemeten.

2.4 Organoleptische beoordeling

Per partij is de rijpheid van steeds 6 à 10 appels volgens de schaal-methode door twee personen beoordeeld en uitgedrukt in stevigheid (1 = zeer stevig, 10 = zeer zacht) en in meligheid (1 = niet melig, 10 = zeer melig).

3 RESULTATEN

3.1 Oriënterende metingen aan tomaten en andere vruchten

De waargenomen trillingen van de wand van de tomaten zijn zeer minimaal en de resonantiefrequenties zijn afhankelijk van de wijze van opstelling van de tomaat. Uit de animatiebeelden bleek de ondergrond (respectievelijk ophangdraad) en de tomaat op de zelfde wijze te trillen. Blijkbaar brengt de trilling van de ondergrond (respectievelijk ophangdraad) de tomaat in een trillende beweging en wordt dus de gemeten trilling niet bepaald door de eigenschappen van de tomaat.

Appels bleken wel onafhankelijk van de ondergrond te trillen, evenals perziken. Ook pruimen leken te resoneren, alhoewel er een invloed van de ondergrond leek te bestaan. Nektarienes en meloenen gaven een onduidelijke respons. Paprika's resoneerden duidelijk.

Een oorzaak voor het al of niet resoneren is gezocht in de aan- of afwezigheid van luchtholten in het vruchtvlees. Bij tomaten zijn die niet aanwezig, bij appels daarentegen wel. Deze hypothese is bevestigd door een ballonnetje, respectievelijk champignons die heel goed resoneren, met water te vullen, waarna geen resonantie meer werd geconstateerd.

Aangezien het non-destructief vaststellen van de rijpheid van appels voor de praktijk ook van groot belang is en deze vruchten een duidelijk resonantiepatroon geven is het onderzoek vervolgd met het meten van het resonantiegedrag van appels in de loop van de rijping.

3.2 Metingen aan appels

3.2.1 Oriënterende metingen

De in de winkel gekochte zes appels van het ras James Grieve varieerden in gewicht van 112 tot 194 gram. Van de zwaarste appel zijn scans gemaakt van het bewegend oppervlak. Er is bij 850, 1360, 1970 respectievelijk 2220 Hz resonantie geconstateerd. Uit de animatiebeelden blijkt dat er bij 850 Hz een enkele, bij 1360 Hz en 1970 Hz een dubbele en bij 2220 Hz een meer gecompliceerde golf in het oppervlak optreedt. Sommige appels resoneren bij vijf frequenties, maar andere slechts bij drie. In de loop van de rijping verschuiven deze frequenties naar lagere waarden. Er komen echter ook andere pieken bij terwijl er ook verdwijnen. Ook zijn er verschillen in resonantiepatronen tussen de appels. Er is nagegaan of de stand van de appel of het gekozen meetpunt van invloed is op het meetresultaat. De hoogte van de resonantiepiek (dat wil zeggen de maximale snelheid van het trillende oppervlak) is hiervan wel afhankelijk, maar de resonantiefrequentie niet. Door het bespuiten van het oppervlak met een matte witte verf wordt een duidelijker signaal verkregen. Het opbrengen van zo'n verflaagje beïnvloedt de resonantiefrequentie wel. De afhankelijkheid van de signaalsterkte van de plaats van meting is logisch bij ingewikkelde golfpatronen; waarbij knopen en buiken optreden. De verschillen tussen de appels kunnen worden veroorzaakt door verschillen in rijpheid maar ook in gewicht volgens Abbot *cs* (1). Omdat beide factoren in deze proef verstrengeld zijn, kan dus geen uitspraak worden gedaan over de oorzaak van de verschillen.

3.2.2 Metingen aan het ras Alkmene

Bij de voorgaande proef waren de appels te gevarieerd. Bij deze proef is iedere partij samengesteld uit appels die zoveel mogelijk overeenstemmen in grootte en rijpheid, behalve die van het laatste plukstadium (zie bijlage Tabel 1). De meetresultaten zijn niet in het rapport opgenomen (een aparte bijlage is op verzoek bij het RIKILT ter inzage). Bij de akoestische metingen zijn aanvankelijk alleen de frequenties geregistreerd waarbij resonanties optraden, met daarbij de

grootte van het signaal. Dit lijnenspectrum is zeer gecompliceerd en in de loop van het onderzoek bleek dat het de werkelijkheid niet goed weergeeft.

Er is dan ook overgegaan op het opnemen van een geheel resonantiespectrum van 300-3500 Hz. De gekozen meetpunten zijn afhankelijk van het verloop van het spectrum. Het lijnenspectrum laat nogal wat verschillen tussen de appels zien (bijlage Figuur 3). Bij het opnemen van een totaalspectrum is de overeenkomst beter, al blijven er in sommige gevallen aanzienlijke verschillen (bijlage Figuur 4). Tijdens de bewaarperiode is een verschuiving van het spectrum naar lagere frequenties waar te nemen (bijlage Figuur 5). Het maakt echter wel verschil of de appels in opslag dan wel aan de boom rijpen (bijlage Figuur 6). Dit verschil komt in de organoleptische beoordeling niet tot uiting (bijlage Tabel 2).

Een probleem bij deze vergelijking is, dat de organoleptische beoordeling van een partij aan andere appels is verricht dan die welke akoestisch zijn gemeten. Aanvankelijk zijn de partijen redelijk homogeen, maar uiteindelijk ontstaan er vrij grote verschillen in stevigheid respectievelijk meligheid tussen de appels. Ook veranderen de spectra soms in de loop van de rijping van vorm, zodat het moeilijk is om vast te stellen welke resonantiepieken met elkaar vergeleken moeten worden (bijlage Figuur 7). Toch lijkt het mogelijk om een bepaalde resonantiepiek in de loop van de rijping te volgen. Die piek namenlijk, die verschuift in het gebied van 1700 Hz naar 700 Hz. Meestal is dit de hoogste piek. Bij de tweede pluk (bijlage Tabel 3) is dit overwegend het geval. Bij de eerste pluk (bijlage Tabel 4) en bij de derde pluk (bijlage Tabel 5) onderscheidt genoemde resonantiepiek zich minder duidelijk (zie ook de spectra in de aparte bijlage). Bij overrijpe appels gaat de schil los zitten; het blijkt dat al of niet schillen van de appels invloed heeft op het resonantiegedrag (zie ook spectra in aparte bijlage).

3.2.3 Metingen aan Cox en Elstar

De gemeten spectra van steeds andere appels zijn niet in dit rapport opgenomen (een aparte bijlage is op verzoek bij het RIKILT ter inzage). Bij de laatste serie zijn én hele appels én radiaal uit die

appels geboorde cylinders gemeten. Daaruit blijkt een groot verschil tussen spectra van hele appels en boorsels. Het is niet duidelijk of er pieken zijn weggevallen of dat het hele spectrum naar hogere resonantiefrequenties is opgeschoven. Het spectrum van de hele appel is tamelijk ingewikkeld, zodat het moeilijk is een bepaalde piek te volgen in de loop van het rijpingsproces.

Men kan globaal drie piekgroepen onderscheiden, met frequenties < 1000 Hz, $1000 \text{ Hz} < > 2000$ Hz, respectievelijk > 2000 Hz. De middelste groep lijkt het meest afhankelijk van de rijpheid. In de bijlagen Tabel 6 (Cox) en Tabel 7 (Elstar), zijn de belangrijkste pieken in dit gebied weergegeven. In bijlage Tabel 8 zijn de frequenties van de resonanties van boorsels van de laatste serie appels weergegeven.

4 CONCLUSIES

1. Alleen vruchten die luchtholten bevatten resoneren onder invloed van geluidsgolven. Tomaten zijn met geluidsgolven niet tot resonantie te brengen.

2. De resonantiespectra zijn complex en nogal variabel van vorm, onder meer afhankelijk van: het appelras
het plukstadium
de mate van rijpheid

Door de verandering van de vorm in de loop van de rijping is het volgen van het frequentieverloop van de resonantiepieken niet gemakkelijk.

3. Er treedt in de loop van de rijping een verschuiving op van het resonantiespectrum naar lagere frequenties. De mate van verschuiving lijkt ras-afhankelijk te zijn. Bij het ras Alkmene zijn grote verschuivingen geconstateerd; bij Cox en Elstar zijn ze veel kleiner, terwijl de bij 23°C bewaarde appels soms, vooral bij Cox, al zeer zacht en melig waren.

4. De waargenomen spectra vertonen een overeenkomst met de door Abbot c.s. (1) gemeten spectra van mechanisch in trilling gebrachte appels.

5. De door Abbott c.s. geconstateerde afhankelijkheid van de resonantiefrequenties van de grootte van de appel kon in dit onderzoek niet bevestigd noch ontkend worden.

6. Door de complexiteit van het resonantiegedrag van appels is er in dit onderzoekstadium nog geen uitspraak te doen over de haalbaarheid van een in de praktijk uitvoerbare snelle niet-destructieve meting van de rijpheid. De resultaten zijn van dien aard dat verder onderzoek gerechtvaardigd lijkt. Een meer theoretische onderbouwing is daarbij noodzakelijk. Dit betreft vooral de trillingswijzen van de resonerende appel en de interferenties tussen de verschillende trillingen.

Bij een vervolgonderzoek is het zeer gewenst de beschikking te hebben over apparatuur waarmee het spectrum in een gewenst aantal stappen kan worden geregistreerd en doorgestuurd naar een computer voor verdere statistische verwerking en koppeling aan andere meetgegevens.

LITERATUUR

1. Martens M.J.M.

Laser Doppler Vibrometer. Measurements of Leaves.

(in druk)

2. Abbott J.A., G.S. Bachman, N.F. Childers, J.V. Fitzgerald and F.J. Matusik.

Sonic Techniques for Measuring Texture of Fruits and Vegetables.

Food Technology 22, 101-112, 1968.

Tabel 1. Onderzoekschema voor ras Alkmene

Pluk	Datum	Indicatie	Onderzoekdata								
			rijpheid	24/8	31/8	7/9	14/9	21/9	28/9	5/10	10/10
1	24/8	onrijp	o,a	o,a	o,a	o,a	o,a	a	a	o	a
2	31/8	plukrijp		o,a	o,a	o,a	o,a	a	a	o	a
3	7/9	rijp?			o,a	o,a	o,a	a	a	o	a
4	21/9	overrijp					o,a	a	a	o	a

o = organoleptisch, a = akoestisch

BIJLAGE TABEL 2

Tabel 2. Organoleptische beoordeling van Alkmene

Onderzoekdata	24/8		31/8		7/9		14/9		21/9		10/10	
	Stevig- heid	Melig- heid	Stevig- heid	Melig- heid	Stevig- heid	Melig- heid	Stevig- heid	Melig- heid	Stevig- heid	Melig- heid	Stevig- heid	Melig- heid
Plukstadia												
1e pluk 24/8	2,6	1,2	2,9	1,2	4,2	1,3	5,2	2,2	6,5	3,1	7,4	5,3
2e pluk 31/8			2,8	1,2	4,0	1,2	5,8	2,3	5,3	2,3	6,7	3,7
3e pluk 7/9					4,4	1,2	5,2	1,7			7,1	4,9
4e pluk 21/9									6,3	2,5	7,2	4,8

Schaal

1 zeer stevig resp. niet melig

10 zeer zacht resp. zeer melig

Tabel 3. Verschuiving van een belangrijke piek in resonantiespectra
van Alkmene 2e pluk (31/8)

Appel nummer	Onderzoeksdata									
	31/8		7/9		14/9		28/9		5/10	
	Hz	V	Hz	V	Hz	V	Hz	V	Hz	V
1	1620	0,62	1520	1,28	1360	0,68	1000	0,40	850	0,70
2	1630	1,28	1300	1,00	1000	0,72	740	0,80	725	0,75
3	1700	0,55	1430	0,80	1470	0,92	810	0,84	795	0,75
4	1710	0,72	1530	0,85	1370	0,96	994	0,60	855	0,86
5	1630	1,00	1560	1,50	1360	0,90	1040	0,37	870	0,80
6	1480	0,92	1300	0,90	1170	0,60			710	0,90
7	1630	0,86	1510	1,10	1210	0,52			810	0,80
8	1640	0,56	1570	1,00	1310	0,42			835	0,72
9	1620	0,52	1440	0,60	1230	0,40			840	0,58
10	1700	0,75	1400?	0,90	1150	0,60			784	0,98

Tabel 4. Verschuiving van een belangrijke piek in resonantiespectra van Alkmenele pluk (24/8)

Appel nummer	Onderzoeksdata									
	24/8		31/8		7/9		21/9		5/10	
	Hz	V	Hz	V	Hz	V	Hz	V	Hz	V
1	1710?	0,26	1420	0,40	1220	0,52	900	0,55	870	0,55
2	1500?	0,40	1350	0,44	1140	0,60	850	0,56	725	0,84
3	1750	0,48	1510	0,72	1400	0,70	1080	0,50	890	0,76
4	1760	0,28	1500	0,44	1250	0,44	954	0,72	750	0,78
5	1620	0,34	1510	0,60	1120	0,60	860	0,80	730	0,96
6	1700	0,38	1375	0,40	1150	0,44	?		770	1,16
7	1680?	0,30	1520	0,48	1340	0,70	?		775	0,52
8	1650	0,56	1440	0,58	1220	0,52	1200	0,62	860	0,50
9	?		1380	0,36	1070	0,40	960	0,38	810	0,90
10	1700	0,50	1500	0,50	1350	0,54	?		790	0,75

Tabel 5. Verschuiving van een belangrijke piek in het resonantiespectrum van Alkmene 3e pluk (7/9)

Appel nummer	Onderzoeksdata							
	7/9		14/9		21/9		5/10	
	Hz	V	Hz	V	Hz	V	Hz	V
1	1630	0,90	1480	0,60	1100	0,52	745	0,70
2	1600	0,80	1490	0,80	1270	0,84	verrot	
3	1660	0,60	1580	0,75	1280	0,84	1030	0,35
4	1890	0,40	1590	0,60	1510	0,35	1225	0,55
5	1670	0,60	1310	0,65	900	0,90	rimpelig, stippen	
6	1760	0,58	1570	0,40	?		900	0,33
7	1560	1,00	1360	0,48	1150?	0,36	734	1,20
8	1750	0,90	1485	0,75	1280	0,80	880	0,68
9	1700	0,46	1510?	0,30	1200?	0,30	985	0,40
10	1620	0,50		?	990?	0,40		

Tabel 6. Resonantiefrequentie en sterkte van het signaal van Cox,
gemeten 24/11

Pluk	Afmeting	Bewaring					
		CA		3°C		23°C	
		Hz	V	Hz	V	Hz	V
1e	klein	1650	0,34	1420	0,15	1250	0,37
		1800	0,30	1450	0,22	1250	0,60
	groot			1400	0,30	1350	0,38
3e	klein					1250	0,43
	groot					900	0,38

Tabel 7. Resonantiefrequentie en sterkte van het signaal van Elstar

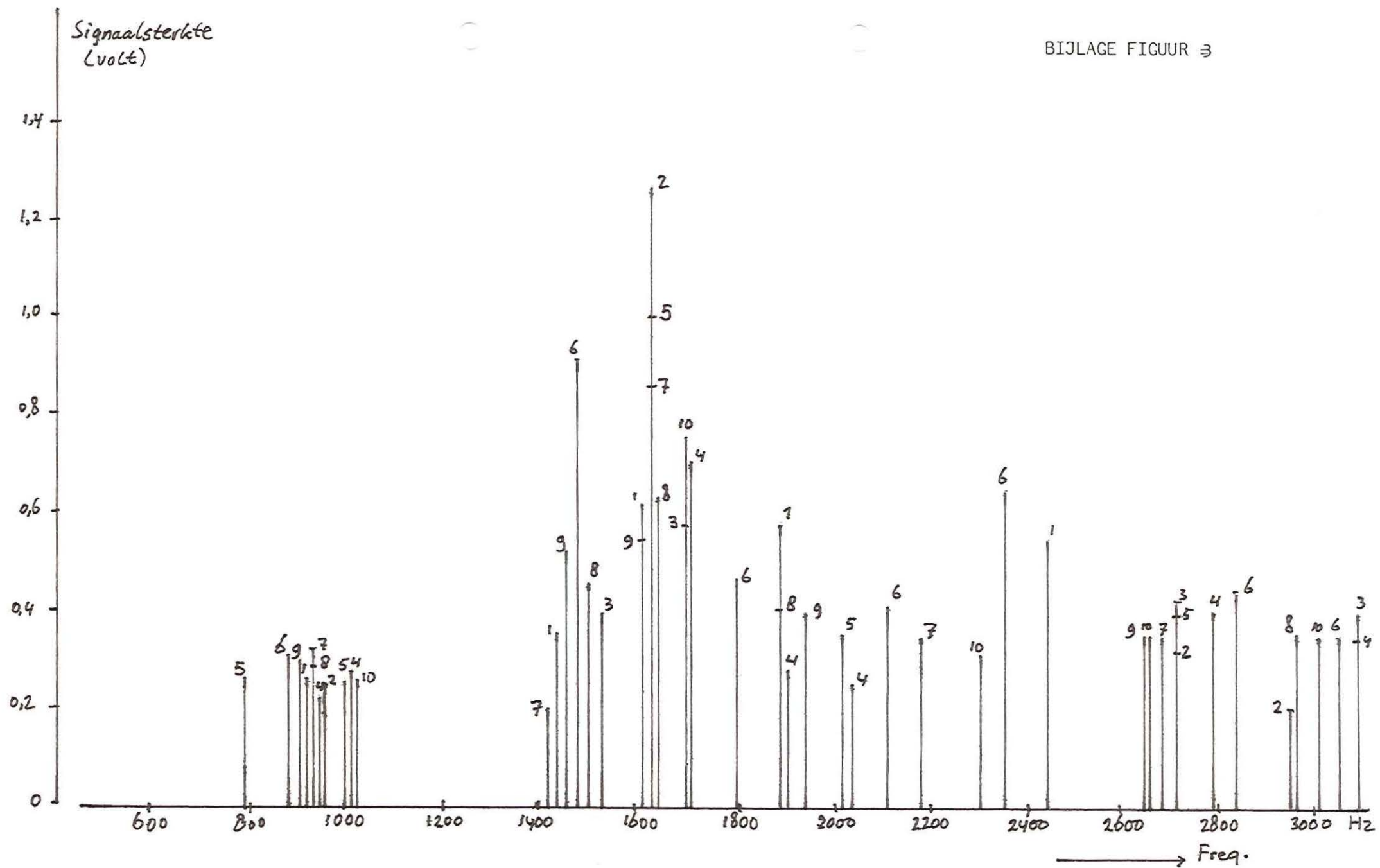
Meet- datum	Pluk	Afmeting	Bewaring							
			CA		3°C		13°C		23°C	
			Hz	V	Hz	V	Hz	V	Hz	V
24/11	1e	klein			1600	0,30			1300	0,70
		groot			1500	0,60			1180	0,70
30/11	1e	klein	1500	0,50			1500	0,47	1450	0,43
			1630	0,82						
		groot	1600	0,63			1380	0,76	1300	0,65
	3e	klein	1800	0,41			1550	0,31	1440	0,50
			1980	0,22			1320	0,48	1480	0,44
21/12	1e	groot	1430	0,41			1250	0,58		
		klein	1650	0,70			1500	0,48	1500	0,28
		groot	1500	0,52			1280	0,40	1250	0,72
	2e	klein	1650	1,05			1550	0,57	1300	0,75
		groot	1500	0,50			1650	0,40	1100	0,45
							1350	0,40		

Tabel 8. Resonantiefrequentie van boorsels uit Elstar gemeten 22/12
(monsters van 21/12)

Pluk	Grootte appel	Bewaring					
		CA		3°C		23°C	
		piek1	piek2	piek1	piek2	piek1	piek2
1e	klein	2650	3300	2150	2550	2520**	
	groot	2650	3100	2150	2500	2120**	
2e	klein	2200*	2700	2200	2550	1700?	2120
	groot	2200*	2600	2130	2550	1700	2120

* twijfelachtig

** maar één duidelijke piek



Figuur 3. Lijnspectrum van Alkmene 2e pluk (31/8), 1e meting (31/9)

Appels genummerd: 1-10

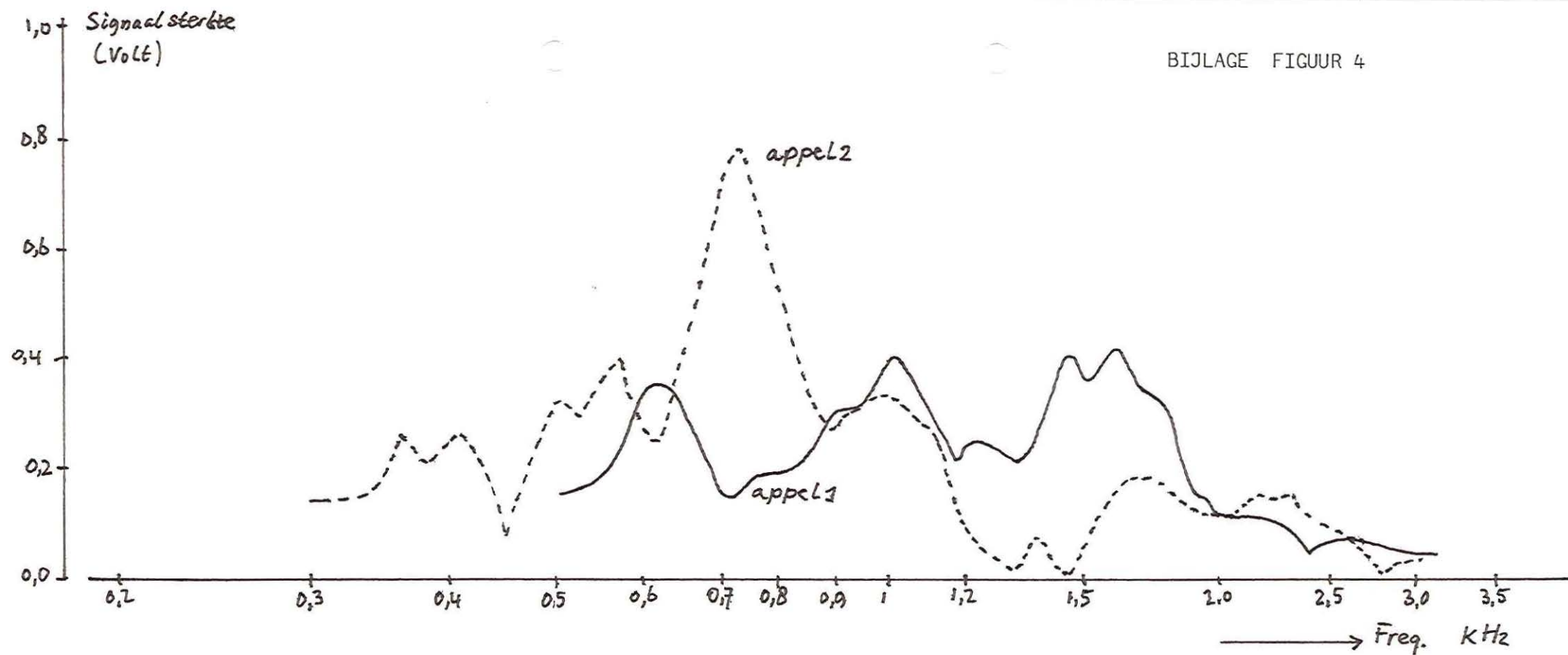
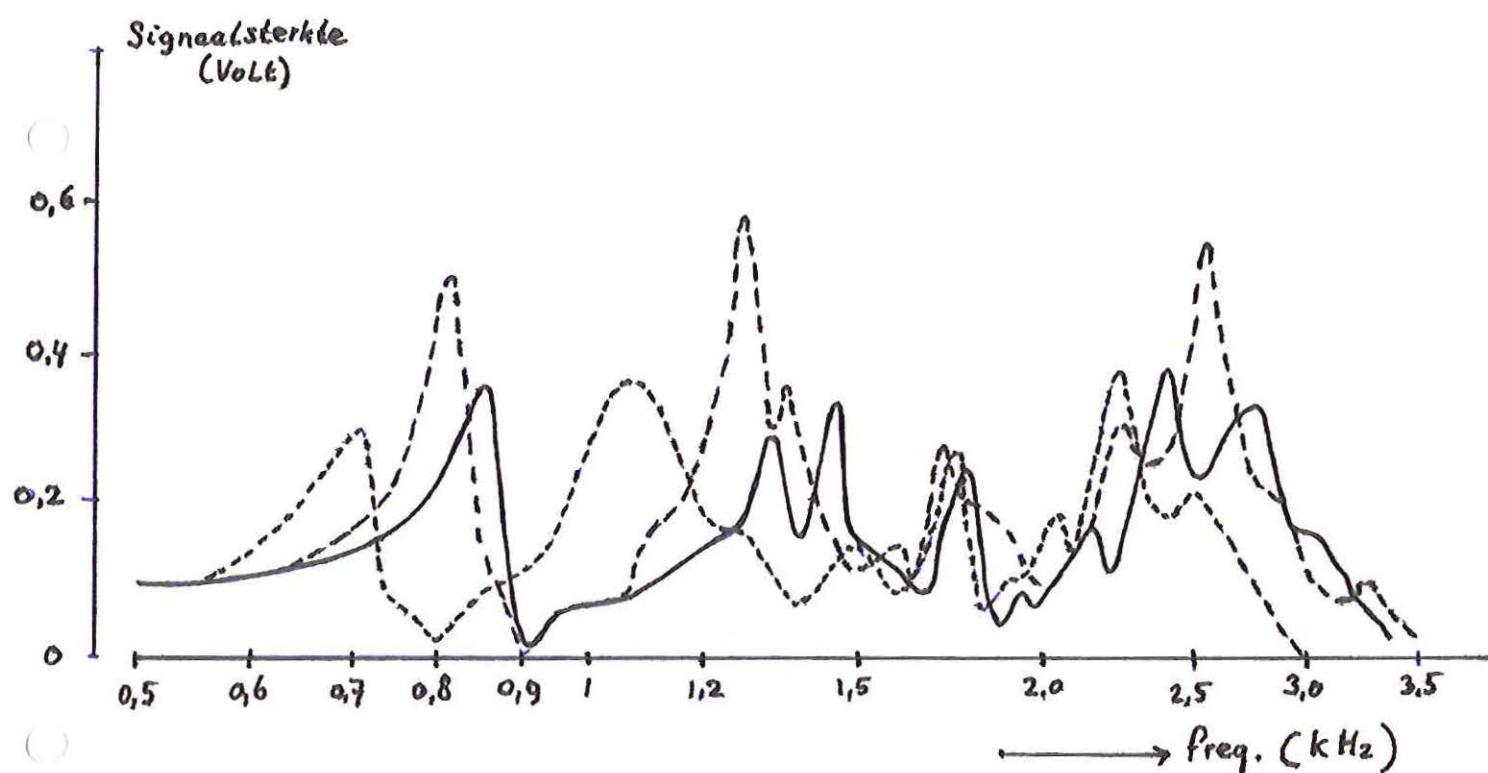


fig 4. Resonantiespectrum appels, ras Alkmene, 2e pluk (31/8)
Appel 1 - 5e meting 28/9

Figuur 5. Alkmene, laatste pluk (31/9)

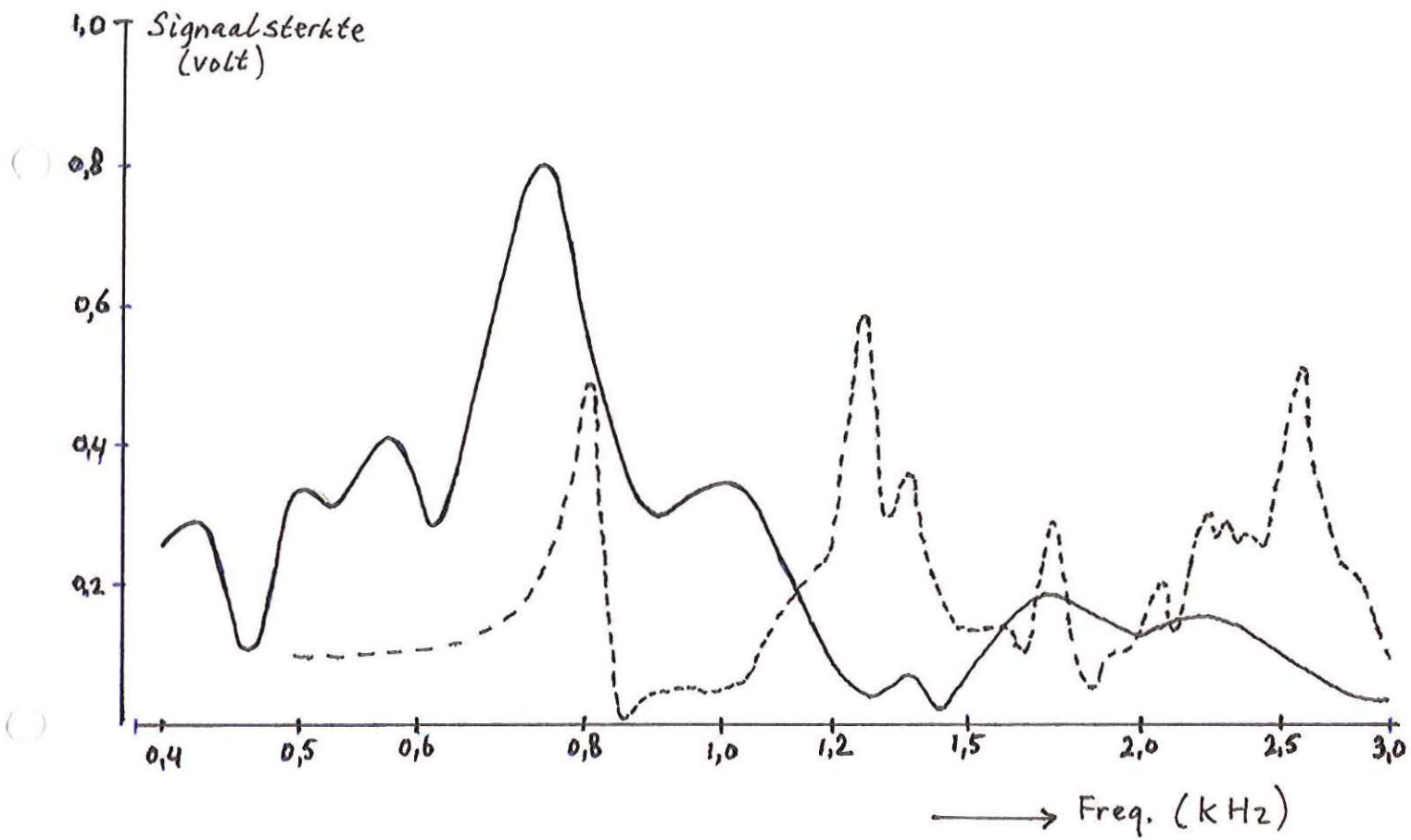
Gemeten ——— 21/9
 Spectrum - - - - - 28/9
 12/10



Figuur 6. Resonantiespectra

1: appel in opslag gerijpt

2: appel aan de boom gerijpt



Figuur 7. Resonantiespectra van dezelfde appel: verandering na 1 week

1e meting ———
na één week - - - - -

