

# VOKALVARIGHED I DANSK MED SÆRLIGT HENBLIK PÅ TRYKSVAGE VOKALER

Christian Jensen<sup>1</sup>

Institut for Almen og Anvendt Sprogvidenskab,  
Københavns Universitet, Njalsgade 80, 2300 Kbh S.  
(written in May 2000, minor corrections May 2008)

## 1. Indledning.

I forbindelse med udviklingen af dansk syntetisk tale på Institut for Almen og Anvendt Sprogvidenskab på Københavns Universitet<sup>2</sup> har det længe været klart at ikke mindst produktionen af trykssvage stavelser kunne forbedres væsentligt. Et af problemerne har i den sammenhæng været manglen på eksperimentelle undersøgelser af varigheden af trykssvage vokaler. Det gælder både for de altid ubetonede vokaler [ə] og [ʌ] i ord som "Gitte" og "gitter" og for ubetonede fuldvokaler i ord som "ghetto" og "fokus". Varigheden af betonedede fuldvokaler er blevet belyst i bl.a. Fischer-Jørgensen (Fischer-Jørgensen (1955, Fischer-Jørgensen (1964), Holtse (Holtse (1977) og Bundgaard (Bundgaard (1980)), men disse undersøgelser behandler ikke fuldvokaler i ubetonet stavelse eller de ubetonede vokaler [ə] og [ʌ], med Bundgaard (Bundgaard (1980) som en delvis undtagelse. Han medtager vokalerne [i] og [ɑ] i prætonisk stavelse, men de behandles blot kursorisk.

Vi opstillede derfor et eksperiment der kan belyse i hvert fald 3 områder:

- (1) Varigheden af de ubetonede vokaler [ə] og [ʌ]. Herunder var vi især interesserede i to forhold: (a) de to vokalers varighed i forhold til hinanden, altså varighedsforskelle baseret på åbningsgrad, og (b) de to vokalers varighed som en funktion af antallet af konsonanter umiddelbart før vokalen. Første punkt kan eksemplificeres ved parret "bygge" - "bygger", mens andet punkt kan eksemplificeres ved parrene "Gitte" - "gispø" og "gitter" - "gisper".
- (2) Varigheden af ubetonede fuldvokaler. Selvom ubetonede fuldvokaler måske ikke kan anses for at være typiske for dansk, viser en søgning i et ordbogskorpus på ca. 50.000 ord, stillet til rådighed af Peter Molbæk Hansen, at over 20.000 af disse indeholder en ubetonet fuldvokal ([i, e, a, o, y, u]), og næsten 400 ord matcher den struktur vi besluttede at begrænse os til (se nedenfor), nemlig C'VCV. Det er altså ord som "Pippi, ghetto, Garda" osv.

---

<sup>1</sup>Udarbejdelsen af materialet er foregået i samarbejde med Nina Grønnum, ligeledes IAAS.

<sup>2</sup>I øjeblikket foregår dette arbejde under projekt DST — Dansk Syntetisk Tale — i samarbejde med Center for Personkommunikation (CPK) ved Aalborg Universitet og Tele Danmark, med støtte fra Forskningsministeriet.

- (3) Varigheden af betonedede vokaler. Selvom dette emne har været belyst i en del artikler (se ovenfor) er der alligevel god grund til at medtage det i denne undersøgelse også. Dels har vokallængde undergået visse udviklinger i Københavnsk rigsmål siden den sidste undersøgelse i 1980 — udviklinger som ikke er særligt godt belyst, men kendte og ofte omtalte. Jeg refererer her især til den kortvokalforlængelse der karakteriserer en del former for københavnsk. Og dels har vi i undersøgelsen brug for at kunne sammenligne vokalerne under punkt (1) og (2) med trykstærke vokaler, da forholdet mellem varigheden af betonedede og ubetonedede vokaler, udtrykt som en *ratio* mellem de to, benyttes ved formuleringen af reglerne for den syntetiske tale.

## 2. Materiale.

Foruden de to tryksvage vokaler [ə] og [ʌ] besluttede vi at medtage fire trykstærke vokaler i såvel kort som lang udgave. Disse vokaler er: [i, y, u, a/æ, ɑ]. De repræsenterer to (ekstreme) åbningsgrader, snæver og åben, i såvel fortunge- som bagtungeposition. Det viste sig desuden at være relativt enkelt at finde gode eksempelord med disse vokaler.

Vi besluttede at basere undersøgelsen på oplæsning af "naturlige" sætninger, dvs. sætninger med et naturligt indhold, i modsætning til faste rammesætninger med nonsensord (eller rigtige ord). Der er altså ikke tale om naturligt "forekommende" sætninger, men om sætninger konstrueret til formålet. Fordelen ved denne type materiale er at det dels repræsenterer forholdsvis fri, naturlig tale, omend ikke helt så naturlig som spontan tale, men samtidig tillader at man kan kontrollere en del af de faktorer som har indflydelse på varighedsforhold, og som derfor ville fungere som intervenserende variable, eller støj, i undersøgelsen. Herunder bl.a. variationer i den rytmiske opbygning af sætningen, og det semantiske indhold, som ikke må lede til uhensigtsmæssige betoninger.

I hver sætning er der et *testord*, som indeholder de vokaler vi vil undersøge. Alle ordene er tostavede, med tryk på første stavelse. Dermed står alle de undersøgte ubetonedede vokaler i første posttoniske stavelse. Desuden blev ordenes struktur fastlagt ud fra hensyn til både størst mulig ensartethed og "segmenterbarhed," og ud fra hensynet om at de skulle være nogenlunde almindelige danske ord. For ord med finalt [ə] eller [ʌ]:

$$C_{[bdgptk]} + 'V(:)_{[iyua/\æ\alpha]} + ([s]) + C_{[bdg]} + V_{[ə\lambda]} + [s]$$

Ord med final ubetonet fuldvokal:

$$C_{[bdgptkfs]} + 'V(:)_{[iyua\alpha]} + C_{[bdgptk]} + V_{[iuoa]} + [sd]$$

Som det nok fremgår var ideen altså at have en initial lukkelyd, fulgt af en af de trykstærke vokaler [i, y, u, a/æ, ɑ], enten kort eller lang, derefter en medial lukkelyd før den ubetonedede vokal. Som final afgrænsning til denne valgte vi at bruge en koronal, så vidt det var muligt [s], ellers [d]. Effekten af mediale konsonantgrupper tester vi ved at indskyde [s] før lukkelyden. Vi var dog nødt til at slække kravene en anelse ved ordene med ubetonet fuldvokal, for at have tilstrækkeligt med egnede ord, ligesom vi ikke har

mediale konsonantgrupper i disse ord. Der er desuden et par undtagelser til det første mønster, nemlig "lystes", "dybeste" og "faste(r)s".

Kombinationen af 4 betonedede vokaler i både lang og kort udgave, efterfulgt af henholdsvis én og to konsonanter og enten [ə] eller [ʌ] giver i alt 32 forskellige kombinationer ( $4 \times 2 \times 2 \times 2$ ). Vi fandt dog ingen eksempler på ord med langt [y:] + [s(bdg)] + [ʌ], så der er i alt 31 testord med final reduceret vokal. Hertil kommer 18 ord med final ubetonet fuldvokal, så der i alt indgår 49 testord i undersøgelsen.

For hvert testord blev der konstrueret en sætning som ordet kunne indgå i. Sætningerne er tre - fem trykgrupper lange, de fleste er på fire trykgrupper. Testordet blev placeret så det altid er betonet, og aldrig i første eller sidste trykgruppe (altid i anden eller tredje trykgruppe). Antallet af stavelser i den trykgruppe der indledes af testordet, blev lagt fast til tre, dvs. der er én ubetonet stavelse efter testordet<sup>3</sup> og dermed to posttoniske i alt. Antallet af stavelser i de øvrige trykgrupper varierer mellem 2 og 4.

De 49 sætninger blev arrangeret i 5 randomiserede lister med distraktorsætninger for hver femte sætning. Fire indtalere, to mænd og to kvinder i alderen (ca.) 25-40 år, læste de fem lister op to gange hver, således at der er ti gentagelser af hver sætning. Oplæsningerne blev optaget i et radioskærmet indtalingstudie på følgende udstyr: Sony ES55 DAT, Senheisser MKH 40 P48 mikrofon og Behringer MIC 2200 mikrofonforstærker. Den ene indtaler læste hele materialet ind to gange med 14 dages mellemrum, da den første indtaling måtte kasseres.

### 2.1. Mulige problemer med materialet.

Eftersom vi har valgt at benytte naturlige sætninger, har det ikke været muligt at ekskludere alle de øvrige forhold der har betydning for vokalers varighed. Fischer-Jørgensen (Fischer-Jørgensen (1964) påviste at vokalerne varighed er afhængig af den efterfølgende konsonants artikulationssted, og bl.a. Holtse (Holtse (1977) og Fischer-Jørgensen (Fischer-Jørgensen (1980) har påvist en sammenhæng mellem en vokals længde og aspirationsgraden af en foranstående lukkelyd. Disse to variabler er ikke holdt konstante i denne undersøgelse, og de kan dermed komme til at tilføje "støj" i resultaterne, i form af mindre klare tendenser. For at undersøge hvor stort dette problem kunne være, lavede jeg en pilotundersøgelse hvor jeg dels indtalte det naturlige sætningsmateriale og dels et særligt konstrueret "nonsens\_ordsmateriale," hvor alle variabler var holdt konstante. Resultatet af denne undersøgelse er beskrevet andetsteds, men hovedkonklusionen var at selvom enkelte tendenser synes at stå lidt tydeligere frem i nonsensordstesten, var det trods alt de samme tendenser man kunne se i analysen af begge indtalinge. Det blev derfor vurderet at der ikke var grund til at gøre yderligere ved dette potentielle problem. Et par enkelte undtagelser skal dog nævnes. I ord med 'a' som den betonedede vokal optræder både fortunge- og bagtungevarianten, altså [a/æ:] og [ɑ(:)]. Det fremgår af bl.a. Bundgaard (Bundgaard (1980) at disse vokaler har noget forskellig varighed — [ɑ] er ca. 10-15 ms. længere end [a]. Dette blev bekræftet i pilotundersøgelsen, endda med noget større forskelle for de lange vokalers vedkommende, så

---

I ordet *dybeste* er denne ubetonedede stavelse dog en del af testordet.

det er klart at der må kompenseres for denne forskel, hvis målingerne af de to typer vokaler skal sammenlignes direkte. Desuden blev vi først efter indtalingerne opmærksomme på at fordelingen af initiale aspirerede og uaspirerede lukkelyde varierer uheldigt med vokallængde, således at aspirerede lukkelyde i langt de fleste tilfælde står før lange vokaler. Dette kan give et noget skævt billede af relationen mellem lang og kort vokal, og der vil derfor blive korrigeret for dette. Dels på baggrund af den førnævnte pilotundersøgelse, og dels på baggrund af anden kendt viden om emnet — primært Bundgaard (Bundgaard (1980)).

Der er også et mere isoleret problem: testordet *typer* har to mulige udtaler — med henholdsvis kort og lang betonet vokal. Ordet indgår i materialet som eksempel på et langvokal-ord, men det er ikke muligt at sikre at indtalerne vil benytte denne udtale.

### 3. Analyse.

Materialet blev digitaliseret på en Sun arbejdsstation ved 16 bit 16kHz opløsning. De enkelte sætninger blev gemt separat (i hver sin fil) og derefter segmenteret manuelt ved brug af ESPS/*waves+*® signalanalyseprogrammet. Segmenteringen foregik ud fra spektrogram, intensitetskurve (højpasfiltreret ved 500 Hz, integrationstid 5 ms.),  $F_0$ -kurve og waveform (mikrofonsignal). Afgrænsningen af vokaler foregik så vidt det var muligt ved onset og offset af andenformanten (onset og offset af energi i det øvre formant-område). Rent teknisk foregik segmenteringen ved hjælp af *Waves+*®-programmet "xlabel", som skriver label-navn og tidskoordinater i rene textfiler. Denne metode gør senere databehandling relativt smidig, da man kan benytte almindelige tekstprocesseringsværktøjer til at uddrage data med. Jeg benyttede et (awk-)script skrevet på University of Edinburgh, delvist omskrevet og suppleret med en del hjemmelavede scripts, til dette formål. Disse scripts tillader søgning på bestemte segmenter i nærmere specificerede omgivelser, og kan desuden foretage visse statistiske beregninger.

Til den videre statistiske analyse benyttede jeg Pipestat ("oneway") til variansanalyserne og skrev selv et program der kunne lave Scheffés multiple sammenligninger på basis af outputtet fra "oneway." De anvendte formler er taget fra Reinholt Petersen (Petersen (1996))

I testordene blev alle de segmenter der indgår i de mønstre der er nævnt ovenfor, målt. Det såkaldte "åbne interval" (eksplosionsstøj + aspirationsfase) blev målt separat for både aspirerede og (såkaldt) uaspirerede lukkelyde. Desuden blev varigheden af den trykgruppe hvori testordet indgår, også målt. Dette mål kan dels bruges til "normalisering" af data i forhold til variationer i tale tempo (se nedenfor), og kan dels være interessant for kodningen af varighedsreglerne i synteseprogrammet. Afgrænsningen af trykgrupperne gav problemer ved enkelte sætninger, da der ikke var taget højde for dette da sætningerne blev lavet. Derfor er der sætninger med vokalhiat eller to tilstødende lukkelyde ved den ene grænse, hvilket gjorde præcis afgrænsning vanskelig. Dette problem er dog ikke af afgørende karakter.

### 4. Resultater.

Jeg beregnede middelværdi og standardafvigelse af alle målte segmenter, inklusive trykgrupperne, for de 10 gentagelser af alle sætningerne. Standardafvigelsen giver et vist indtryk af hvor ensartet de fire indtalerne kunne (re)producere varigheder. Det blev konstateret at der var en del tilfælde af mere eller mindre ekstreme "outliers," altså segmenter som afviger væsentligt i varighed fra middelværdien. Da formålet med denne undersøgelse er at sikre plausible middelværdier til brug for syntesen, snarere end at redegøre for potentiel variation, besluttede jeg at benytte "trimmed means" for hvert testord. Dvs. den højeste og laveste værdi (varighed) for et givet segment over de 10 gentagelser blev sorteret fra. Alle beregninger er derfor baseret på middelværdien af de 8 *mellemste* varigheder.

Som et forsøg på at normalisere for variationer i tale tempo i løbet af de 10 gentagelser af testsætningerne, gennemførte jeg en "normaliseringprocedure" — en simpel skalering af hvert segment i forhold til middelvarigheden af den trykgruppe den optrådte i. Denne procedure førte imidlertid ikke til væsentligt større ensartethed i materialet, og det blev derfor besluttet at anvende de ikke-normaliserede data.

Data for enkelte testord måtte kasseres, da udtalen af ordene afveg fra det forventede. Det drejer sig dels om ordet *typer*, som 3 af indtalerne (AH, BN, CH) udtalte med kort vokal (se ovenfor), og dels om *kube* og *tuber* som af indtaleren CH ligeledes blev udtalt med kort vokal. Denne udtale er ikke almindeligt forekommende og er altså idiosynkratisk for den pågældende indtaler. Kun data for de afvigende udtaler blev kasseret.

#### 4.1. *Betonede vokaler.*

Varigheden af de betonede vokaler fremgår af tabel 1 og 2.

## Vokalvarighed i dansk

Betonet vokal før ə/ʌ											
<i>Indtaler</i>	<i>Før↓</i>	i	y	u	a	ɑ	i:	y:	u:	æ:	ɑ:
<b>AH</b>	C + ə	84	102	92		160	106	130	118		168
	CC + ə	93	98	101	124		112	118	134	141	
	C + ʌ	73	89	78		145	103		89		168
	CC + ʌ	80	93	93	133		100		118	138	
<b>BN</b>	C + ə	69	94	68		136	109	126	117		171
	CC + ə	67	77	70	114		93	104	128	144	
	C + ʌ	60	69	64		122	117		105		172
	CC + ʌ	61	61	65	118		88		123	153	
<b>CH</b>	C + ə	59	86	74		144	84	99			166
	CC + ə	64	77	93	112		87	106	110	130	
	C + ʌ	56	73	60		126	79				161
	CC + ʌ	64	96	85	124		83		103	122	
<b>MKH</b>	C + ə	78	125	82		172	117	147	130		174
	CC + ə	82	82	90	128		106	115	136	171	
	C + ʌ	76	86	74		157	112	100	95		193
	CC + ʌ	77	85	83	130		108		146	169	
<b>Alle</b>	C + ə	73	102	79		153	104	126	122		170
	CC + ə	77	84	89	120		100	111	127	147	
	C + ʌ	66	79	69		138	103	100	96		174
	CC + ʌ	71	84	82	126		95		123	146	

Tabel 1. Varigheden af betonedede vokaler i testord med [ə] og [ʌ]. Alle indtalere + grand mean.

Betonet vokal før fuldvokal											
<i>Indtaler</i>	<i>Før↓</i>	i	e	u	o	a	ɑ	o:	ɔ:	æ:	ɑ:
<b>AH</b>	i	64				112					165
	u							104	119	132	
	o		98		92			110		139	
	a	90		90		104		125			176
<b>BN</b>	i	57				102					160
	u							110	125	139	
	o		84		88			111		139	
	a	62		75		103		120			196
<b>CH</b>	i	48				96					156
	u							77	90	118	
	o		93		85			80		122	
	a	57		90		102		111			173
<b>MKH</b>	i	65				100					181
	u							120	149	144	
	o		100		83			136		157	
	a	65		83			116	143			219
<b>Alle</b>	i	59				102					165
	u							103	121	133	
	o		94		87			109		139	
	a	69		85		103	116	125			191

Tabel 2. Varigheden af betonedede vokaler før ubetonede fuldvokaler. Alle indtalere + grand mean.

## Vokalvarighed i dansk

Hvis vi først ser på varighederne i  $\text{\textcircled{a}}$ -materialet på tværs af de forskellige efterfølgende kontekster, ser det således ud (tabel 3):

Indtaler	i	y	u	a	$\alpha$	i:	y:	u:	$\text{\textcircled{a}}:$	$\alpha:$
<b>AH</b>	83	96	91	129	153	105	124	115	140	168
<b>BN</b>	64	75	67	116	129	102	115	118	149	172
<b>CH</b>	61	83	78	118	135	83	103	107	126	164
<b>MKH</b>	78	95	82	129	165	111	121	127	170	184
<b>Alle</b>	71	87	80	123	145	100	116	118	146	172

Tabel 3. Varigheden af betonedede vokaler før [ə] og [ʌ] — alle kontekster.

Det er især interessant at [i] er kortere end [y] og [u]. En del af forklaringen på at [y] er så meget længere end [i], er at indtaler MKH havde et ekstremt langt [y] i ordet *bygge*, hvor [y] med hele 125 ms. er 40 ms. længere end i ordet *bygger*. Men selv hvis man kompenserer for denne vel nok idiosynkratiske "overlængde," finder man at [y, u] er ca. 10 ms. længere end [i]. Bundgaard (Bundgaard (1980) fandt ingen forskel overhovedet på disse tre vokaler, og da de nuværende regler for vokalvarighed i synteseprogrammet primært er baseret på denne kilde, har der altså heller ingen forskel været i syntesereglerne — indtil for nyligt. Det blev nemlig konstateret at [i] ofte lød lidt for langt, og den blev derfor forkortet med 9 ms. (i kort, trykstærk udgave). Fischer-Jørgensen (Fischer-Jørgensen (1964) finder i øvrigt at [u] og [y] er lidt længere end [i]. Dog er forskellene meget små: henholdsvis 5 og 2 ms.

Man kan også se af tabel 1 at [ $\alpha$ ] er temmelig lang i  $\text{\textcircled{a}}$ -materialet. Dette skyldes kun delvist den almindelige forøgelse af varigheden med større åbningsgrad. For indtaler AH og MKH er [ $\alpha$ ] særlig lange, hvilket må tilskrives den velkendte københavnske kortvokalforlængelse som er specielt udpræget for netop [ $\alpha$ ] blandt yngre talere som AH og MKH. Dette bør der også tages højde for ved kodningen af syntesereglerne, der ikke behøver (eller bør) afspejle denne tendens.

Hvis man sammenligner med fuldvokalmaterialet, kan man se enkelte forskelle (tabel 4).

Indtaler	i	e	u	o	a	$\alpha$	o:	ɔ:	$\text{\textcircled{a}}:$	$\alpha:$
<b>AH</b>	77	98	90	92	108		113	119	135	171
<b>BN</b>	60	84	75	88	103		114	125	139	178
<b>CH</b>	53	93	90	85	99		89	90	120	165
<b>MKH</b>	65	100	83	83	100	116	133	149	151	200
<b>Alle</b>	64	94	85	87	103	116	112	121	136	178

Tabel 4. Varigheden af betonedede vokaler før ubetonede fuldvokaler. Alle kontekster.

For det første er [i] endnu kortere i dette materiale end i  $\text{\textcircled{a}}$ -materialet, mens [u] har nogenlunde samme varighed. Derudover er 'a' (i begge korte varianter) lidt kortere end i  $\text{\textcircled{a}}$ -materialet. Men i det store hele passer varighederne udmærket med hvad der blev fundet i  $\text{\textcircled{a}}$ -materialet, og desuden er der suppleret med varigheder for fx [ɛ] og [ɔ], som synes at bekræfte princippet om at vokaler bliver (ca. 10-15 ms.) længere for hver ekstra åbningsgrad.

## Vokalvarighed i dansk

Dette var kun en kort opridsning af de gennemsnitlige varigheder. Hvis man ser nærmere på tabel 1, fremgår det at de betonedede vokaler i æl-materialet har lidt forskellige varigheder afhængigt af den efterfølgende kontekst.

### 4.1.1. Varighed som en funktion af efterfølgende kontekst.

Tabel 1 indeholder data for de testord der ender på [ə] eller [ʌ] efter henholdsvis én og to konsonanter. Man kan se at der er en vis (begrænset) sammenhæng mellem de forskellige kontekster og den betonedede vokals varighed. Vokalerne er således længere før [ə] end før [ʌ]. Dette gælder for alle fire indtalere, men resultatet er dog ikke signifikant for dem alle og i alle (begge) kontekster.

Indtaler		Kontekster		F'
		V_ə > V_ʌ	VCC > VC	
AH	d	10	7	2.73
	F	10.54	8.00	
	p	< 0.05	< 0.05	
BN	d	6	-6	
	F	2.47	2.50	
	p	> 0.05	> 0.05	
CH	d	4	9	
	F	1.32	15.51	
	p	> 0.05	< 0.05	
MKH	d	8	2	
	F	3.06	0.28	
	p	< 0.05	> 0.05	
Alle	d	7	2	2.71
	F	12.80	1.34	
	p	< 0.05	> 0.05	

Tabel 5. Varigheden af betonedede vokaler som en funktion af hhv. efterfølgende antal konsonanter og efterfølgende vokal ([ə] el. [ʌ]).

Hvis man først ser på forskellen uanset antallet af mediale konsonanter (tabel 5), fremgår det at denne er signifikant for indtaler AH og MKH, men ikke for CH og BN (hos BN er den dog signifikant på 10% niveauet). For alle indtallerne samlet er forskellen også signifikant, og har en gennemsnitlig varighed på 7 ms. Det er dog interessant at se på forskellen i ord med henholdsvis én og to mediale konsonanter separat (tabel 6). Det viser sig nemlig at forskellen i vokallængde før [ə] og [ʌ] er signifikant for alle indtalere, når der kun er én medial konsonant. Forskellen er gennemsnitligt på 13 ms. Hvis der er to mediale konsonanter er det kun indtaler AH der har signifikant forskellig vokallængde. For de øvrige indtalere er der ingen forskel, og det samlede resultat viser derfor heller ingen signifikant forskel. Den relevante information man kan uddrage her, og som eventuelt kan kodes i synteseprogrammet, er altså at der i ord med den simple struktur C'VCV er forskel på den betonedede vokals længde, alt efter om den efterfølgende ubetonede vokal er [ə] eller [ʌ].

Med hensyn til variationen i antallet af mediale konsonanter fremgår det af både tabel 1 og 5 at der ikke er nogen klar systematisk og signifikant relation mellem denne



variabel og varigheden af den betonede vokal. Dels er der store individuelle forskelle — således har indtaler AH og CH signifikant længere vokaler før to konsonanter, mens indtaler BN har længere vokaler før én konsonant (dog kun signifikant på 10% niveauet) — og dels er der store forskelle mellem de enkelte vokaler. For [u:] (altid) og [i] (delvist) gælder således at de er *kortere* før én konsonant end før to konsonanter. [y:] og [i:] er derimod *længere* før én konsonant end før to konsonanter. Disse forskelle kan ikke antages at være systematiske ud fra de pågældende vokaler (hvad skulle være fællesnævneren?), men må hidrøre fra de anvendte testord.

Hvis man ser på de fire forskellige kontekster hver for sig, kan man se at hver af de to variabler indgår i en vis form for interaktion med den anden variabel (tabel 6).

Indtaler		Kontekster				F'(*)
		CC $\wedge$ > C $\wedge$	CC $\text{ə}$ > C $\text{ə}$	C $\text{ə}$ > C $\wedge$	CC $\text{ə}$ > CC $\wedge$	
AH	<i>d</i>	10	4	14	7	
	<i>F</i>	14.48	1.53	7.71	3.31	
	<i>p</i>	< 0.05	> 0.05	< 0.05	< 0.05	
BN	<i>d</i>	-4	-8	10	4	
	<i>F</i>	0.45	2.60	3.16	0.38	
	<i>p</i>	> 0.05	> 0.05	< 0.05	> 0.05	
CH	<i>d</i>	15	5	11	-1	
	<i>F</i>	25.63	2.25	2.93	0.02	
	<i>p</i>	< 0.05	> 0.05	< 0.05	> 0.05	
MKH	<i>d</i>	11	-7	18	-1	
	<i>F</i>	5.41	5.69	7.57	0.01	
	<i>p</i>	< 0.05	> 0.05	< 0.05	> 0.05	
Alle	<i>d</i>	8	-2	13	2	
	<i>F</i>	11.49	0.46	18.75	0.78	
	<i>p</i>	< 0.05	> 0.05	< 0.05	> 0.05	

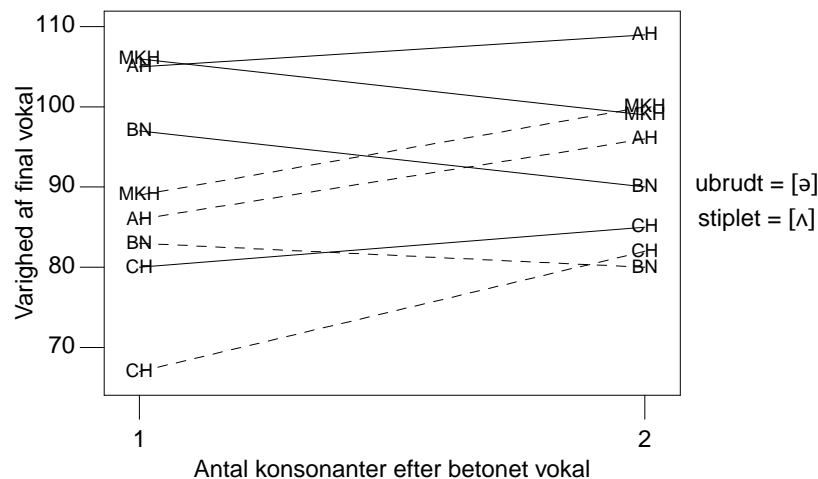
(\*) F' er i alle tilfælde mellem 2.71 og 2.77

Tabel 6. Varigheden af betonede vokaler som en funktion af hhv. efterfølgende antal konsonanter og efterfølgende vokal ([ə] el. [ɘ]). De fire relevante kombinationer er vist.

Som det fremgår af tabel 6, varierer varigheden af den betonede vokal mest når der er én efterfølgende konsonant og den ubetonede vokal veksler mellem [ə] og [ɘ]. Forskellen er signifikant for alle indtallerne og dermed også for alle fire samlet. Der ses desuden en vis effekt af antallet af mediale konsonanter, når den efterfølgende vokal er [ɘ], men ikke før [ə]. Forskellen klar og signifikant for indtaler AH, CH og MKH og samlet, men ikke for BN, der har en ikke-signifikant forskel i den anden retning. Den gennemsnitlige forskel er på 8 ms.

Vi kan altså konstatere at betonede vokaler i  $\text{ə}\wedge$ -materialet er længere før to konsonanter end før én konsonant — men kun hvis den ubetonede vokal er [ɘ] — og de er ligeledes længere før [ə] end før [ɘ] — men kun hvis der kun er én medial konsonant. Det kan være lidt svært at se dynamikken i denne variation, og jeg har da heller ingen oplagt forklaring. Den interaktion der foregår, er afbildet i figur 1, hvor man også kan se at der er en del individuel variation.

## Vokalvarighed i dansk



Figur 1. Variation af den betonedede vokals længde som funktion af hhv. antal efterfølgende konsonanter og den ubetonede vokal.

De betonedede vokaler der efterfølges af en ubetonet fuldvokal, optræder ikke i tilstrækkeligt systematisk varierende kontekster til at det er muligt at generalisere ud fra materialet. De eneste steder hvor dette er tilnærmelsesvis muligt, er vokalerne [i] og [o:] — i ordene *Pippi*, *Ghita* og *fokus*, *Togo*, *Botha* — og her kan man konstatere at den betonedede vokal er længere i ord med finalt [a] end i de øvrige ord. Det er dog svært at drage nogen interessante konklusioner af det yderst begrænsede materiale.

Hvad angår betydningen af den efterfølgende kontekst for kodningen af varighedsregler i synteseprogrammet, må man bemærke at det dels er svært at generalisere ud fra de to observationer der kunne gøres — og dermed svært at lave meningsfulde regler — og dels at forskellene er relativt små, ca. 1 cs. Jeg vil derfor mene at man bør prøve at kode forskellene, men hvis dette ikke fører til en tydelig perceptuel forbedring af varighedsforholdene, vil det nok være mest hensigtsmæssigt ikke at medtage disse regler. I hvert fald indtil vi bliver bedre i stand til at redegøre for årsagen til de observerede forskelle.

### 4.1.2. Kort og lang vokal.

Relationen mellem kort og lang vokal kan læses ud af tabel 3 og 4. Det er imidlertid ikke en simpel opgave at tolke disse data, på grund af den måde undersøgelsesmateriale er lagt tilrette. Der er således en del uhensigtsmæssigheder som det er nødvendigt at kompensere for på den ene eller anden måde. Det overordnede — og afgørende — problem er i den forbindelse den skævhed der er i fordelingen af initiale aspirerede og uaspirerede lukkelyde før de betonedede vokaler. I  $\text{ə}$ -materialet er der 15 ordpar med henholdsvis kort og lang vokal (vi fandt ingen lang modsætning til ordet *buster*). Alle ord med kort vokal indledes af en uaspireret lukkelyd, men ord med lang vokal har forskellige typer initiale konsonanter. 10 af disse har aspireret lukkelyd, så man får modsætningspar som fx. *Gitte* - *pibe*, *gispe* - *kiste*. I to ordpar efterfølger den lange vokal en ustemt frikativ - [f]. Kun i tre tilfælde indledes ordet med lang vokal af en uaspireret lukkelyd.

Det særligt uheldige med denne fordeling er at flere undersøgelser, primært Fischer-Jørgensen (Fischer-Jørgensen (1964, Fischer-Jørgensen (1980) og Holtse (Holtse (1977) har påvist at vokaler er kortere efter aspirerede lukkelyde end efter uaspirerede lukkelyde. Mht. frikativerne er der en vis uenighed. I Fischer-Jørgensen (Fischer-Jørgensen (1964) grupperes de ustemte frikativer [f s h] med de ustemte lukkelyde, dvs. vokalerne efter frikativerne er (næsten) lige så korte som efter de aspirerede lukkelyde. I Holtse (Holtse (1977) grupperes frikativerne derimod med de uaspirerede lukkelyde. Af figurerne på afhandlingens side 6-4 og 6-5, fremgår det dog at der ofte er tale om at frikativerne er intermediære mellem aspirerede og uaspirerede lukkelyde. De absolutte forskelle mellem vokaler efter aspirerede og uaspirerede lukkelyde var i Fischer-Jørgensen (Fischer-Jørgensen (1980) ca. 20 ms., mens de i Holtse (Holtse (1977) var noget mindre — ca. 5-15 ms. for de forskellige indtalere. Vokalvarighederne var dog generelt noget lavere i denne undersøgelse.

Det er dog ikke muligt blot at sætte betydningen af aspiration som en konstant — fx. 15 ms. — og så addere denne konstant til alle vokaler der efterfølger en aspireret lukkelyd i denne undersøgelse. Når man ser nærmere på data, er det tydeligt at der er meget stor spredning i effekten af en aspirationsmodsatning. Både imellem de fire indtalere og imellem de fire anvendte vokaler i əΛ-materialet (fuldvokalmaterialet tillader kun meget få direkte sammenligninger). I tabel 7 kan man se forskellen på kort og lang vokal for alle fire indtalere.

Forskellene varierer fra 8 ms. til 52 ms. og gennemsnittet for hver indtaler varierer fra 20 til 41 ms. Den ekstremt korte forskel på 8. ms. for indtaler CH dækker bl.a. over at hans lange [æ:] er kortere end hans korte [a] i ordparret *gaster - faster!* Selvom dette delvist kan skyldes at den korte vokal [a] har større åbningsgrad end den lange [æ:], er det stadig ganske bemærkelsesværdigt. Forskellen er også meget lille for indtaler AH (5 ms.) men for BN og MKH er den henholdsvis 35 og 39 ms. Det er altså ganske svært at generalisere her og *skyde skylden* på frikativten.

En anden enkeltobservation det er værd at lægge mærke til, er at MKH har længere vokal i *garder* end i *karte*. Dette strider imod de ovennævnte principper om at vokalerne er kortere før [ʌ] end før [ə], og skyldes med stor sandsynlighed påvirkningen fra det aspirerede [ǰ<sup>h</sup>]. Kombinationen aspireret lukkelyd + åben vokal, i.e. [ǰ], gav store afgrænsningproblemer for enkelte af indtalerne. Selvom det åbne interval er kortere ved åbne end ved snævre vokaler, var det dog ofte ca. 60-80 ms., og netop MKH havde et særdeles langt åbent interval — over 90 ms. ved *karte* mod kun ca. 15 ms. ved *garder*. Det særlige ved det åbne interval for åbne vokaler er at det ofte inkluderer et relativt langt

Indtaler	i < i:	y < y:	u < u:	a < æ:	α < α:	Total
AH	23	29	24	11	16	20
BN	38	40	52	33	43	41
CH	23	20	29	8	29	21
MKH	33	26	45	41	19	33
Alle	29	29	39	23	26	29

Tabel 7. Forskelle mellem korte og lange vokaler i əΛ-materialet.

stykke med stemthed inden onsets af de øvre foranter. Vokalen bliver målt til at være relativt kort, pga. det sene onsets af de øvre foranter, men perceptorisk virker de ofte temmeligt lange. Fx. kan man konstatere at vokalen i *karte* kun er 2 ms. længere end i *bakke* hos MKH, men man opfatter stadig de to vokaler som henholdsvis lang og kort. Man kan altså ikke udelukke at det åbne interval — eller evt. den stemte del af dette — i disse tilfælde medvirker til opfattelsen af varighed. Dermed kunne en ændring af segmenteringsprincipperne give væsentligt anderledes resultater, ikke mindst ved disse vokaler. Jeg mener dog ikke at dette er grundlag nok for at lave en generel ændring af disse principper, som er blevet undersøgt grundigt i bl.a. Fischer-Jørgensen og Hutters (Fischer-Jørgensen og Hutters (1981).

I stedet kunne man mht. til forskellen på [α] og [α:] se på ordparret *Bagger - garder*. Her er forskellen for samme indtaler 36 ms. under forhold der er langt bedre sammenlignelige. Denne forskel er da også i bedre overensstemmelse med de forskelle der blev fundet af bl.a. Bundgaard (Bundgaard (1980).

Der er dog også god grund til at kigge lidt på de åbne intervaller og evt. undersøge relationerne mellem vokalerne hvis disse måles fra lukkelydsekspllosionen og dermed inkluderer det åbne interval. I det næste afsnit har jeg opstillet tabeller over disse målinger.

#### 4.1.3. Vokalvarigheder inklusive det "åbne interval".

Jeg har ikke medtaget tabeller over fuldvokalmaterialet, da dette under alle omstændigheder kun tillader få sammeligninger af kort og lang vokal, men i tabel 8 kan man se en oversigt over varigheden af vokalerne i əΛ-materialet inklusive det åbne interval. Denne tabel modsvarer altså tabel 1.

Der er en oversigt over de gennemsnitlige varigheder uafhængigt af efterfølgende kontekst i tabel 9, og differencen mellem kort og lang vokal under disse betingelser fremgår af tabel 10. Begge disse tabeller skal dog læses med stor forsigtighed (og et øje på tabel 8), da enkelte af tallene dækker over gennemsnit af modsatrettede tendenser. Fx. er differencen mellem [y] og [y:] for indtaler MKH 50 ms., hvilket dækker over forskelle på 6 ms. i ordparret *dyste - lyste*, (da *lyste* ikke har noget åbent interval), og 100 ms. i parret *bygger - typer*, pga. at sidstnævnte ord har et åbent interval på over 100 ms. Man er altså nødt til at "plukke" lidt i tallene visse steder.

For vokalen [i(:)] gælder det at den lange udgave nu er gennemsnitligt 64 ms. længere end den korte, mod 29 ms. hvis vokalvarighederne blev målt uden det åbne interval. Den reelle forskel må altså ligge et sted mellem disse to værdier. Forskellen er blevet lidt større for [u(:)], hvor den lange vokal nu er hele 86 ms. mod før 39 ms. Men igen gælder det altså at den reelle forskel på lang og kort vokal må ligge mellem yderværdierne 39 og 86 ms.

Det er noget sværere at tyde tallene for de øvrige vokaler, da der i gennemsnittene indgår ord uden åbent interval, der derfor fremstår som særdeles korte. Det er bl.a. derfor at [a] for to af indtalerne er længere end [æ:], jvf. ordparret *gaster - faster*. Hvis man ser på udvalgte ord, kan man lave lidt mere oplagte sammenligninger. Fx. *bygge - dybeste*, hvor den lange vokal er gennemsnitligt 34 ms. længere end den korte. I øvrigt en

## Vokalvarighed i dansk

Betonet vokal før ə/ʌ inklusive det "åbne interval"											
Indtaler	Før↓	i	y	u	a	α	i:	y:	u:	æ:	α:
<b>AH</b>	C + ə	123	122	123		170	184	156	208		237
	CC + ə	128	127	124	134		196	<i>118</i>	213	<i>141</i>	
	C + ʌ	114	110	113		154	167		186		194
	CC + ʌ	120	111	116	158		181		197	<i>138</i>	
<b>BN</b>	C + ə	109	113	104		143	154	154	192		225
	CC + ə	103	107	94	123		166	<i>104</i>	174	<i>144</i>	
	C + ʌ	93	96	101		126	162		186		190
	CC + ʌ	98	83	91	142		166		194	<i>153</i>	
<b>CH</b>	C + ə	98	111	110		156	146	130			230
	CC + ə	96	105	115	125		163	<i>106</i>	178	<i>130</i>	
	C + ʌ	94	97	95		136	124				186
	CC + ʌ	94	123	110	148		158		166	<i>122</i>	
<b>MKH</b>	C + ə	123	146	116		182	202	176	218		266
	CC + ə	119	109	116	135		194	<i>115</i>	222	<i>171</i>	
	C + ʌ	116	106	107		166	199	206	203		208
	CC + ʌ	106	103	110	150		190		234	<i>169</i>	
<b>Alle</b>	C + ə	113	123	113		163	172	154	206		240
	CC + ə	112	112	112	129		180	<i>111</i>	197	<i>147</i>	
	C + ʌ	104	102	104		146	163	206	192		195
	CC + ʌ	105	105	107	150		174		198	<i>146</i>	

Tabel 8. Varigheden af betonedede vokaler i testord med [ə] og [ʌ], inklusive det "åbne interval". Alle indtaller + grand mean og grand mean total. De tal der er vist med kursiv, er de samme som i tabel 1, da disse ord ikke har et åbent interval.

Indtaler	i	y	u	a	α	i:	y:	u:	æ:	α:
<b>AH</b>	121	118	119	146	162	182	137	201	140	216
<b>BN</b>	101	100	98	133	135	162	129	187	149	208
<b>CH</b>	96	109	108	137	146	148	118	172	126	208
<b>MKH</b>	116	116	112	143	174	196	166	219	170	237
<b>Alle</b>	108	111	109	139	154	172	141	198	146	217

Tabel 9. Varigheden af betonedede vokaler før [ə] og [ʌ] inklusive det åbne interval — alle kontekster.

Indtaler	i < i:	y < y:	u < u:	a < æ:	α < α:	Total
<b>AH</b>	61	20	82	-7	54	42
<b>BN</b>	61	29	89	16	73	54
<b>CH</b>	52	9	65	-11	62	35
<b>MKH</b>	80	50	107	28	63	65
<b>Alle</b>	64	27	86	7	63	49

Tabel 10. Forskelle mellem korte og lange vokaler i əʌ-materialet, inklusive det åbne interval.

overraskende lille forskel, når man sammenligner med [u(:)]. Desuden er der ordparret *Bagger - garder*, hvor forskellen er 49 ms.

Skal man opsummere på baggrund af dette beskedne grundlag, kan vi konstatere at der er en del spredning. Data fra Fischer-Jørgensen (Fischer-Jørgensen (1980) synes at

antydte at vokaler efter aspirerede lukkelyde bliver forkortet med ca. 1/3 - 1/4 af forskellen i åbent interval. Dvs. hvis det åbne interval er ca. 30 ms. efter [g] og 70 ms. efter [k] — en forskel på 40 ms — så vil vokalen i sidstnævnte tilfælde blive forkortet med ca. 10 ms. Med udgangspunkt i dette finder vi altså i dette materiale forskelle på (i runde tal) 35-40 ms. for [i(:)], 50 ms. for [u(:)], 35 ms. for [y(:)] og 35-40 ms. for [ɑ:]. Der er relativt store individuelle forskelle. Det mest overraskende ved disse tal er som sagt den relativt store forskel på langt og kort [u:].

Som jeg efterhånden har gjort klart nogen gange, er materialet i denne undersøgelse dog ikke specielt velegnet til at give præcise svar på varighedsrelationer mellem kort og lang vokal. Jeg har derfor valgt at inddrage andre kilder som grundlag for de specifikationer der skal bruges i synteseprogrammet — primært den pilotundersøgelse jeg omtalte i afsnit 2.1 og Bundgaard (Bundgaard (1980), som er den nyeste større undersøgelse af vokalvarighed i dansk.

#### 4.1.4. Supplerende kilder til vokalvarighed.

##### 4.1.4.1. Pilotundersøgelsen.

Den del af pilotundersøgelsen som er relevant at inddrage, er selvfølgelig resultaterne fra nonsensordsmaterialet. I dette materiale var der ingen intervenerende variabler, og det er således muligt at sammenligne varigheder for de forskellige vokaler direkte. Tabel 11 og 12 viser en oversigt over vokalvarigheder i dette materiale.

Før↓		<i>i</i>	<i>y</i>	<i>u</i>	<i>a</i>	<i>i:</i>	<i>y:</i>	<i>u:</i>	<i>a:</i>
ə	C	82	92	83	126	127	134	125	159
	CC	77	80	89	124	106	113	119	150
ʌ	C	72	85	72	114	115	115	121	150
	CC	70	72	73	124	105	-	117	150
Mean		75	82	79	122	113	121	121	152
Diff.		<i>i&lt;i:</i>	<i>y&lt;y:</i>	<i>u&lt;u:</i>	<i>a&lt;a:</i>				
		38	39	42	30				

Tabel 11. Varigheden af de betonedede vokaler før [əʌ] i nonsensordsmaterialet.

Før→	<i>i</i>	<i>u</i>	<i>o</i>	<i>a</i>	<i>mean</i>	<i>Diff.</i>
<i>i</i>	85	73	78	73	77	42
<i>i:</i>	122	121	120	111	119	
<i>a</i>	123	122	124	118	122	36
<i>a:</i>	162	160	157	152	158	

Tabel 12. Varigheden af de betonedede vokaler før fuldvokaler i nonsensordsmaterialet.

I əʌ-materialet er forskellen på kort og lang vokal ca. 40 ms. for de snævre vokaler og lidt mindre — ca. 30 ms. — for vokalen *a*. Nogenlunde det samme mønster finder vi i fuldvokalmaterialet. Forskellen er 42 ms. for den snævre vokal og 36 ms. for den åbne vokal. Det skal her pointeres at det var vokalparret [a] - [æ:] der blev brugt i begge materialer. Dermed er der (knap) en åbningsgrad til forskel på den korte og den lange udgave, hvilket er med til at gøre forskellen på de to mindre. Alt i alt finder vi altså en meget stabil forskel på kort og lang vokal på ca. 40 ms. Der er ingen tendens til at

forskellen er større for den åbne vokal end for de snævre, nærmere omvendt, og dermed kan man ikke anskue forskellen som en procentvis forlængelse af kortvokaler (eller procentvis forkortelse af langvokaler).

#### 4.1.4.2. Bundgaard 1980.

Bundgaard undersøgte 12 vokalpar med henholdsvis kort og lang vokal, fordelt på 5 åbningsgrader ([a/æ:] og [ɑ] er fordelt på to åbningsgrader). Nedenstående skema viser varigheder for kort og lang vokal i de forskellige åbningsgrader.

	Åbningsgrad nummer				
	1	2	3	4	5
Kort	95.1	102.7	116.4	132.2	139.6
Lang	139.9	148.2	161.2	167.6	180.4
Diff.	44.8	45.5	44.8	35.4	40.8

Tabel 13. Vokalvarigheder i Bundgaard (1980) fordelt på 5 åbningsgrader. 1 = snæver, 5 = åben.

Som man kan se, finder han forskelle på ca. 45 ms. for de 3 snævreste åbningsgrader, men noget mindre for åbningsgrad 4 og (delvist) 5. Nummer 4 består af vokalparrene [a/æ:] og [ʌ/ɒ:]. I begge tilfælde er den korte udgave lidt mere åben end den lange, hvilket er med til at gøre forskellen mindre her. Dog er forskellen for åbningsgrad 5 også en anelse mindre end for de mere snævre vokaler. Bundgaard afbilder varigheden af de korte vokaler som en funktion af varigheden af de lange vokaler og udtrykker det med formlen

$$\text{kort vokal} = 1.19 \times (\text{lang vokal}) - 73$$

men hvis åbningsgrad nummer 4 udelades, får han i stedet formlen

$$\text{kort vokal} = 1.075 \times (\text{lang vokal}) - 56$$

hvilket, som han selv gør opmærksom på, er så tæt på konstans, at man kan simplificere til

$$\text{kort vokal} = (\text{lang vokal}) - 50 \text{ ms.}$$

Rent faktisk er forskellene i hans undersøgelse dog nærmere 45 ms. end de 50 han selv nævner i teksten.

Disse tal stemmer godt overens med hvad der blev fundet i den føromtalt pilotundersøgelse, og når jeg medtog beskrivelsen af de formler der kan redegøre for forholdet mellem kort og lang vokal, var det for at vise at dette forhold ofte er blevet beskrevet som en ratio, eller evt. som en kombination af en multiplikativ + en subtraktiv faktor, men at såvel Bundgaards data som data fra denne undersøgelse kan beskrives meget simple: nemlig ved hjælp af en subtraktiv (eller additiv) konstant. Dette har naturligvis stor betydning for kodningen af denne varighedsregel i syntesprogrammet, og konsekvensen af det ovenstående må være at man kan benytte (en udgave af) Bundgaards

sidste regel. Med enkelte justeringer i forhold til pilotundersøgelsen kan man udtrykke det således:

$$\text{varighed}_{\text{lang vokal}} = \text{varighed}_{\text{kort vokal}} + 40 \text{ ms.}$$

#### 4.1.5. Opsummering af varigheder for betonedede vokaler.

På baggrund af de observationer der er gjort om varigheden af de betonedede vokaler i denne undersøgelse, suppleret som anført af andet materiale, kan man tage følgende udgangspunkt for formuleringen af syntesereglerne. Man kan benytte den korteste af alle vokalerne, nemlig [i], som en "basisvokal" som får defineret en default varighed. Alle variationer af denne vokal samt alle øvrige vokaler får så tilskrevet varighed via transformationsregler. Her er en uformaliseret gennemløbning af de relevante parametre.

- (1) Som udgangspunkt får alle vokaler  $V$  tilskrevet en varighed som svarer til midelværdien for vokalen [i] i  $\text{æ}\text{L}$ -materialet (gennemsnit af alle kontekster). Altså 70-75 ms. i betonet udgave.
- (2) Hvis  $V$  er rundet  $\rightarrow + 10$  ms.
- (3) Hvis  $V$  står i positionen  $V + C_{1+} + \text{æ} \rightarrow + 5$  ms.
- (4) Hvis  $V$  står i positionen  $V + C + \text{æ} \rightarrow - 5$  ms.
- (5) Hvis  $V$ 's åbningsgrad er større end 1 (hvor [i] = 1 og [æ] = 5)  $\rightarrow + (10-15 \times \text{åbningsgrad})$ .
- (6) Hvis  $V$  er lang  $\rightarrow + 40$  ms.
- (7) Hvis  $V$  står efter en aspireret lukkelyd  $\rightarrow - 10$  ms.

Derudover skal selvfølgelig indkorporeres de regler for vokalvarighed der allerede eksisterer i syntesprogrammet og som ikke er blevet berørt i denne undersøgelse, fx varighed som en funktion af antal stavelser i ordet.

Bemærk at alle de ovennævnte principper er formuleret ved hjælp af additive og subtraktive funktioner. Dette betyder at rækkefølgen af reglerne ikke er væsentlig. Det vil dog kun være muligt at fastholde disse funktioner for regler som ikke er følsomme overfor variationer i tale tempo eller lignende overordnede varighedsforhold.

#### 4.2. Varigheden af det åbne interval.

I afsnittene ovenfor inddrog jeg det åbne interval i et forsøg på at afklare relationen mellem korte og lange vokaler, men varigheden af dette interval er interessant i sig selv i forbindelse med kodningen af syntesereglerne. Og da det åbne interval indgår i en tæt interaktion med den efterfølgende vokal, vil det være hensigtsmæssigt at hente data fra samme materiale.



## 4.2.1. Artikulationssted.

Varigheden af det åbne interval er først og fremmest afhængig af den foregående lukkelyd. Spørgsmålet om hvorvidt denne er aspireret eller uaspireret er selvfølgelig det vigtigste, men konsonantens artikulationssted har også vist sig at være væsentligt (Fischer-Jørgensen 1980). I tabel 14 kan man se varighederne af det åbne interval efter de forskellige lukkelyde. Jeg har kun medtaget data for betonedede stavelser.

<i>Indtaler</i>	<i>b</i>	<i>d</i>	<i>g</i>	<i>p</i>	<i>t</i>	<i>k</i>
AH	17	25	33	72	98	81
BN	16	24	32	50	77	67
CH	19	26	32	58	78	67
MKH	17	22	30	85	102	88
Alle	17	24	32	66	91	76

Tabel 14. Varigheden af det åbne interval i betonet stavelse.

Man kan se af tabellen at der er stor overensstemmelse blandt de fire indtaltlere ved de uaspirerede lukkelyde, mens der er en del individuel spredning ved de aspirerede lukkelyde. AH og MKH synes at have noget længere åbne intervaller her end BN og CH. Det er måske værd at bemærke her at AH og MKH dels er de yngste af indtaltlerne (hhv. 23 og 25 år) og dels er indfødte københavnere, mens BN og CH er hhv. 34 og 41 år og begge med sjællandsk baggrund. Om den forskel man kan konstatere skyldes alder eller dialektal baggrund, kan være svært at afgøre, men grupperingen synes klar.

Forskellene mellem de enkelte artikulationssteder er således:  $b < d < g$  og  $p < k < t$ . Der er altså ikke helt samme forhold mellem de tre artikulationssteder i de to serier. Dette er helt i overensstemmelse med Fischer-Jørgensen (Fischer-Jørgensen (1980), som fandt præcis samme forhold mellem lukkelydene. Fischer-Jørgensen inddelte sine indtaltlere i tre grupper, og den gruppe der er mest relevant for denne undersøgelse, er gruppe C, som bestod af talere fra København og Nordsjælland, født efter 1939. Ser man på tallene fra denne gruppe, kan man se at varighederne for de uaspirerede lukkelyde er stort set identiske med den aktuelle undersøgelses resultater ( $b = 12$  ms.,  $d = 24$  ms. og  $g = 30$  ms.). De aspirerede lukkelyde havde dog noget længere åbne intervaller:  $p = 93$  ms.,  $t = 115$  ms. og  $k = 106$  ms. Denne forskel hænger muligvis sammen med at materialet i Fischer-Jørgensen (Fischer-Jørgensen (1980) bestod af ordlister med ord af typen CVCə, hvilket generelt giver noget længere varigheder end brugen af naturlige sætninger. Man kunne måske så forvente at dette også ville kunne ses på de uaspirerede lukkelyde, hvilket altså ikke er tilfældet. I den sammenhæng er det måske værd at bemærke at Fischer-Jørgensen fandt relativt store individuelle forskelle på varighederne for de aspirerede lukkelyde, men at disse ikke var afspejlet i varighederne for de uaspirerede lukkelyde. Altså fuldstændig parallelt med resultaterne af denne undersøgelse, hvor den førnævnte gruppering kun kunne ses ved de aspirerede lukkelyde. Denne forskel på de aspirerede og de uaspirerede lukkelyde kan skyldes at de aspirerede lukkelyde har en "programmeret" varighed af det åbne interval, som derfor kan variere meget med øvrige varighedsforhold, mens det åbne interval ved de uaspirerede lukkelyde i højere grad er resultatet af rent fysiologiske mekanismer.

## Vokalvarighed i dansk

Forskellene på de aspirerede og de uaspirerede lukkelyde er:  $b < p = 49$  ms.,  $d < t = 67$  ms. og  $g < k = 44$  ms. Forskellen mellem  $d$  og  $t$  er altså noget større end mellem de andre to par. Alle tal er i fin overensstemmelse med Fischer-Jørgensen (Fischer-Jørgensen (1980)).

### 4.2.2. Den efterfølgende vokals åbningsgrad.

Foruden konsonantens artikulationssted har også den efterfølgende vokals åbningsgrad vist sig at spille en rolle for varigheden af det åbne interval (Fischer-Jørgensen 1980). Normalt er det åbne interval lidt kortere før åbne vokaler end før snævre vokaler. Fischer-Jørgensen fandt forskelle på ca 5-20 ms., med typiske værdier lige omkring 10 ms. Denne forskel finder man også i dette materiale, men der er dog visse afvigelser (se tabel 15 og 16).

	Åbnings- grad	Konsonant					
		<i>b</i>	<i>d</i>	<i>g</i>	<i>p</i>	<i>t</i>	<i>k</i>
<b>AH</b>	<i>Snævre</i>	21	27	36	76	100	86
	<i>Åben</i>	10	20	25	54	96	78
<b>BN</b>	<i>Snævre</i>	21	29	37	52	79	75
	<i>Åben</i>	8	13	21	41	74	61
<b>CH</b>	<i>Snævre</i>	23	30	34	62	74	76
	<i>Åben</i>	11	18	26	38	81	62
<b>MKH</b>	<i>Snævre</i>	22	28	36	86	102	86
	<i>Åben</i>	9	12	17	78	100	89
<b>Alle</b>	<i>Snævre</i>	22	28	35	69	92	81
	<i>Åben</i>	9	16	22	53	88	73

Tabel 15. Varigheden af det åbne interval før henholdsvis åbne og snævre vokaler. De åbne vokaler indbefatter alle varianter af 'a' samt vokalen [ɔ:] i korpus.

Indtaler	Konsonant					
	<i>b</i>	<i>d</i>	<i>g</i>	<i>p</i>	<i>t</i>	<i>k</i>
AH	11	7	11	22	4	8
BN	13	16	16	11	5	14
CH	12	12	8	24	-7	14
MKH	13	16	19	8	2	-4
Alle	12	13	13	16	4	8

Tabel 16. Forskellen mellem det åbne interval før snævre og åbne vokaler. En positiv værdi angiver at intervallet er længere før den snævre vokal.

Forskellene mellem de to åbningsgrader fremgår tydeligst af tabel 16. Man kan se at den generelle tendens er at det åbne interval er ca. 10-20 ms. længere før snævre vokaler. Der er dog to ting der springer i øjnene: 1) MKH har relativt små forskelle efter uaspirerede lukkelyde og 2) efter [t] er der generelt kun lille forskel. Det første punkt må henføres til individuel variation, og det andet punkt kan ikke genfindes i Fischer-Jørgensen (Fischer-Jørgensen (1980)). Her synes det faktisk at være tilfældet at forskellen ofte er størst ved denne konsonant, hvilket også ville være naturligt da det åbne interval jo netop her er særligt langt. Der er dog også tale om forholdsvis få observationer — kun ét hhv. to ord har [t] + åben eller snævre vokal — så der kan være tale om tilfældig

variation. Men konsekvensen af disse resultater må være at der skal kompenseres for åbningsgrad når varigheden af det åbne interval kodes i synteseprogrammet. En forskel på 15 ms. mellem snævre og åbne vokaler synes at være rimelig, og muligvis kan man lave gradueringer der i mellem for halvsnævre og halvåbne vokaler.

#### 4.2.3. Opsummering af varigheden af det åbne interval.

Varigheden af det åbne interval er bedst opsummeret i de sidste to rækker af tabel 15, gengivet nedenfor:

	Konsonant					
	<i>b</i>	<i>d</i>	<i>g</i>	<i>p</i>	<i>t</i>	<i>k</i>
<i>Snæver</i>	22	28	35	69	92	81
<i>Åben</i>	9	16	22	53	88	73

Disse varigheder kan danne udgangspunkt for kodningen af syntesereglerne. Dog skal data for [t] nok tilpasses så de bedre afspejler den forskel mellem åben og snæver vokal som er fundet i andre undersøgelser.

Det er også værd at bemærke at varighederne for de uaspirerede lukkelyde formentlig er relativt ufølsomme overfor variationer i taletempo, da de synes at have en stærk fysiologisk basis, mens varighederne for de aspirerede lukkelyde nok i højere grad er "programmerede," og dermed mere følsomme for øvrige varighedsforhold.

### 4.3. Ubetonedede vokaler.

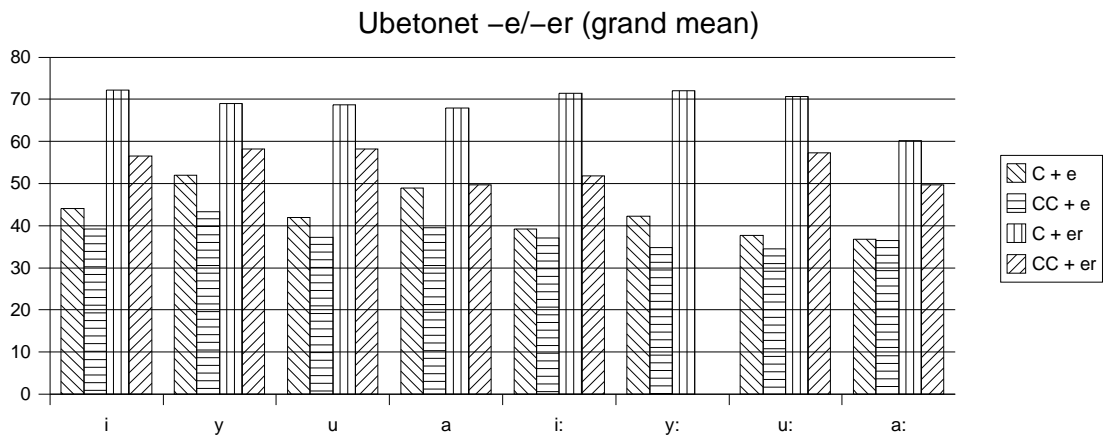
#### 4.3.1. [ə] og [ʌ].

Varighederne af de ubetonedede vokaler [ə] og [ʌ] fremgår af tabel 17 og figur 2.

## Vokalvarighed i dansk

		Ubetonet vokal (ə/ʌ)									
Indtaler	Kontekst	i	y	u	a	ɑ	i:	y:	u:	a:	A:
AH	C + ə	32	43	37		41	34	42	33		30
	CC + ə	35	36	30	33		34	34	30	30	
	C + ʌ	56	62	58		54	60	-	58		50
	CC + ʌ	53	52	50	42		48	-	46	43	
BN	C + ə	41	54	47		49	45	39	41		40
	CC + ə	46	42	41	37		36	33	38	40	
	C + ʌ	82	74	70		74	83	-	80		71
	CC + ʌ	62	65	60	49		56	-	61	54	
CH	C + ə	59	51	48		62	36	40			44
	CC + ə	38	38	38	47		40	37	29	38	
	C + ʌ	72	73	78		81	72	-	-		70
	CC + ʌ	53	52	57	52		50	-	53	48	
MKH	C + ə	44	60	36		44	42	48	39		33
	CC + ə	38	57	40	41		38	35	41	38	
	C + ʌ	79	67	69		63	71	72	74		50
	CC + ʌ	58	64	66	56		53	-	69	54	
Alle	C + ə	44	52	42		49	39	42	38		37
	CC + ə	39	43	37	40		37	35	35	37	
	C + ʌ	72	69	69		68	72	72	71		60
	CC + ʌ	57	58	58	50		52	-	57	50	

Tabel 17. Varigheden af [ə] og [ʌ].



Figur 2. Varigheden af [ə] og [ʌ] for alle indtalere samlet (se også tabel 17).

Søjlediagrammet i figur 2, som kun viser resultatet for alle 4 indtalere samlet, gør det nemt at se to meget klare tendenser. For det første er det oplagt at [ʌ] er længere end [ə]. Forskellen er markant, både efter én og to konsonanter og efter korte og lange vokaler. For de enkelte indtalere er varighederne og forskellen således:

	Indtaler				Mean
	AH	BN	CH	MKH	
ə	35	42	43	42	41
ʌ	52	67	62	64	61
Diff	18	25	19	22	21

## Vokalvarighed i dansk

Alle forskelle er signifikante ( $p < 0.001$ ).

Den anden klare tendens er at de ubetonede vokaler er kortere efter to mediale konsonanter end efter én. Det er tydeligst for [ʌ] men gælder også [ə]. Middelforskellene har følgende værdier:

	Indtaler				
	AH	BN	CH	MKH	Mean
ə	4	5	9	2	5
ʌ	9	18	22	8	14

Forskellen er ikke signifikant for MKH ved [ə]. Alle andre forskelle er signifikante på 0.1% niveauet eller bedre. Det er dog muligt at forskellen ikke så meget er knyttet til *antallet* af mediale konsonanter, men snarere til *arten* af disse. Dette spørgsmål vender jeg tilbage til nedenfor.

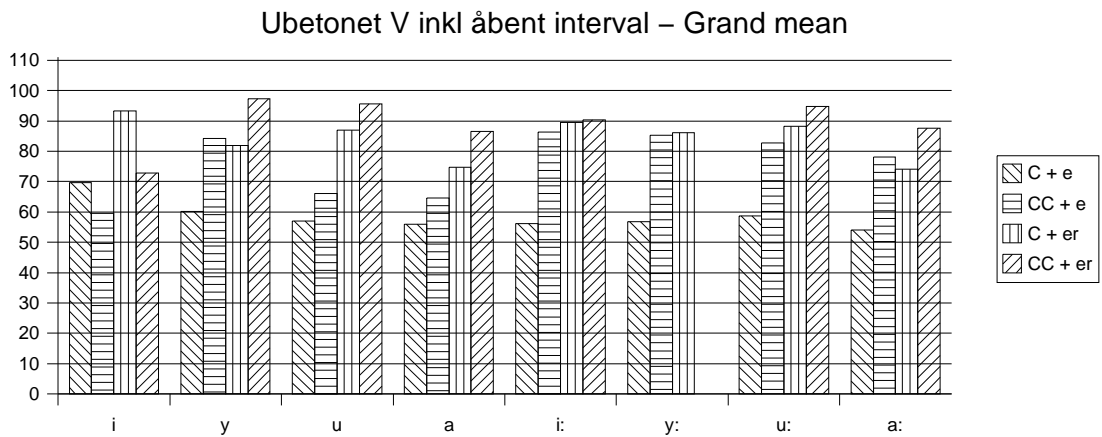
Endelig er der en vis tendens til at de ubetonede vokaler er lidt kortere efter lange vokaler end efter korte vokaler. Forskellen er tydeligst ved [ə], men er dog også her forholdsvis beskedent:

	Indtaler				
	AH	BN	CH	MKH	Mean
ə	3	6	8	6	6
ʌ	2	-1	5	3	2

Bortset fra BN [ʌ] er alle forskelle signifikante på 5% niveauet. Der er dog tale om så små forskelle at det næppe kan svare sig at prøve at kode disse i synteseprogrammet. Desuden skyldes forskellen for [ʌ]'s vedkommende at denne vokal er særlig kort efter langt [æ/ɑ:], snarere end end generel forskel betinget af vokallængde.

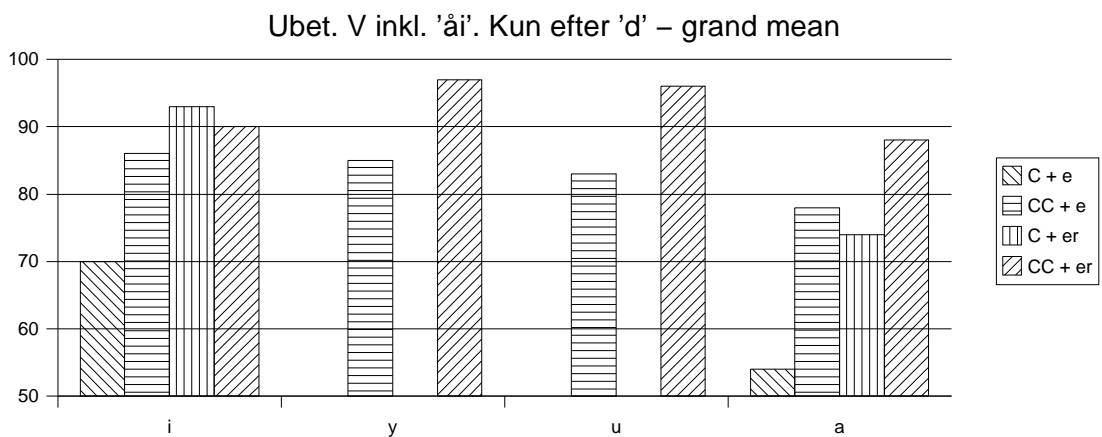
### 4.3.1.1. Mediale konsonanter og åbne intervaller.

Da jeg beskrev forskellen på de ubetonede vokaler efter henholdsvis én og to konsonanter ovenfor, antydede jeg at denne forskel muligvis ikke havde at gøre med antallet af mediale konsonanter, men med *arten* af disse. Grunden til at jeg tager dette forbehold er at den mediale konsonantgruppe i denne undersøgelse adskiller sig fra den enkelte mediale konsonant på en væsentlig måde: det åbne interval synes at være længere efter konsonantgrupper end efter enkelte konsonanter. Nedenfor i figur 3 ses et søjlediagram over varigheden af de ubetonede vokaler inklusive det åbne interval (grand mean). Dette diagram skal sammenlignes med det tilsvarende uden det åbne interval (figur 2).



Figur 3. Varigheden af [ə] og [ʌ] inklusive det åbne interval for alle indtalere samlet (se også figur 2).

Det er umiddelbart klart at der er væsentlige forskelle fra figur 2. Hvis man inkluderer det åbne interval i vokalens varighed, er denne nu *længere* efter to konsonanter end efter én konsonant (dog ikke ved vokalen [i]). Tendensen er tydeligst for [ə] men gælder også [ʌ]. Der er dog det problem med inklusionen af det åbne interval at det — som vi så ovenfor — er stærkt afhængigt af konsonantens artikulationssted. Derfor vil det være mere reelt kun at sammenligne konsonanter med samme artikulationssted. De fleste af konsonantgrupperne består af [s] + [d], så det mest oplagte er at sammenligne disse grupper med de ord der har medalt [d].



Figur 4. Varigheden af [ə] og [ʌ] inklusive det åbne interval. Kun efter ([s])[d].

Det kan være lidt svært at se et klart mønster på grund af de mange "huller" i diagrammet. Det kan dog reduceres på flere måder: Korte og lange vokaler kan slås sammen. Dette synes rimeligt, dels i lyset af de relativt små forskelle der blev fundet ovenfor, og dels fordi der kun er 1 ms. forskel på kort og lang vokal de tre steder de begge optræder i materialet her. Man kan ydermere slå de tre snævre vokaler sammen, da varigheden af det åbne interval ikke synes at variere med disse. Dermed får man et overskueligt lille skema:

## Vokalvarighed i dansk

'V→	Åbningsgrad		
	Snæver	Åben	Mean
C + ə	70	54	62
CC + ə	85	78	82
C + ʌ	93	74	84
CC + ʌ	94	88	91

Tabel 18. Varigheden af [ə] og [ʌ] inklusive det åbne interval. Kun efter ([s])[d] og henholdsvis åbne og snævre vokaler.

Her ses det tydeligt at særligt [ə] men også [ʌ] er længere efter [sd] end efter kun [d], altså det omvendte billede af hvad vi fandt når det åbne interval ikke medregnes til de ubetonede vokalers varighed. Det åbne interval er altså en god del længere når der står et [s] foran [d]'et. Faktisk mellem 20 og 30 ms. længere. Men hvad er egentlig årsagen til denne forskel? Den mest oplagte forklaring er at det skyldes glottisfunktionen ved [s], og den påvirkning den har på efterfølgende segmenter. Vi ved fra bl.a. Frøkjær-Jensen (Frøkjær-Jensen et al (1971) og Hutter's (Hutter's (1984) at der kun sker en begrænset glottisåbning ved *initiale* uaspirerede lukkelyde mellem to vokaler, altså i eksempler som "De ville sige *dine*" — også selvom det initiale [d] ofte er ustemt i denne position. I medial position — altså før en ubetonet vokal som i denne undersøgelses *Gitte* — er [d]'et ofte stemt, hvilket yderligere reducerer åbningen af glottis. Dette afspejles i varigheden af det åbne interval efter konsonanten. Det er ofte særdeles kort; dog er det forholdvis længere ved [d] efter (og foran) snævre vokaler. I denne undersøgelse er gennemsnitsvarigheden af det åbne interval efter [d] 24 ms. efter snævre vokaler og 12 ms. efter åbne vokaler.

Hvis man indsætter et [s] før lukkelyden, får man en noget anden situation. Under artikulationen af denne konsonant åbnes glottis relativt meget med deraf følgende stor luftgennemstrømning. Data i Hutter's (Hutter's (1984) er godt nok baseret på [s] i initial position, men da [s] er mindre tilbøjelig til at blive stemt i medial position end lukkelydene, ikke mindst når den er en del af en konsonantgruppe, kan man nok overføre resultaterne. Når en lukkelyd som [d] efterfølger et [s] i medial position, er glottis altså i en helt anden position end når lukkelyden står alene, nemlig åben snarere end næsten lukket eller vibrerende. Dette betyder at der opbygges et større supraglottalt tryk, hvilket resulterer i større aspiration når lukkelyden opløses. Gennemsnitsvarigheden af det åbne interval efter [sd] er i denne undersøgelse 43 ms. efter snævre vokaler og 39 ms. efter åbne vokaler, altså ca. 20-25 ms. længere end efter kun [d]. Under gennemgangen af de betonedede vokaler ovenfor så vi at der er en interaktion mellem varigheden af det åbne interval og varigheden af den efterfølgende vokal, som er kortere efter lange åbne intervaller. Det er derfor svært at generalisere fra kombinationen af [s] + lukkelyd til konsonantgrupper i almindelighed, da det må formodes at konsonantgrupper som *-lt*, *-mp*, *-gt* i fx. *Holte*, *lampe*, *lægte* vil opføre sig noget anderledes.

Konsekvensen af dette for kodningen af syntesereglerne må blive at man må forsøge at koordinere reglerne for tilskrivning af varighed til det åbne interval og til den efterfølgende vokal — også på basis af forskellige typer konsonantgrupper. Som udgangspunkt vil det dog være hensigtsmæssigt at formulere en relativt simpel og mere generel regel og så evaluere denne ved uformelle lytteforsøg.

4.3.2. Ubetonede fuldvokaler.

Varighederne af de ubetonede fuldvokaler fremgår af tabel 18.

		Ubetonede fuldvokaler									
Indtaler	Efter →					[fs]	k			[bdg]	[(p)tk]
		i	e	u	o	a	a	o:	o:	æ:/α:	æ:/α:
<b>AH</b>	i	52				43	56			45	45
	u							42	56		54
	o		56		53			45		42	45
	a	62		73		69		50		66	
<b>BN</b>	i	52				50	60			44	45
	u							39	56		45
	o		46		51			57		35	53
	a										
<b>CH</b>	i	65				46	62			51	49
	u							44	60		53
	o		53		63			61		47	55
	a	80		89		73		68		83	
<b>MKH</b>	i	62				48	60			51	50
	u							50	64		54
	o		57		64			58		44	68
	a	67		106		79		71		84	
<b>Alle</b>	i	58				47	60			48	47
	u							44	59		52
	o		53		58			55		42	55
	a	75		90		75		65		79	

Tabel 19. Varigheden af de ubetonede fuldvokaler. Alle kontekster er medtaget, således at ét tal repræsenterer ét testord.

Det kan være svært at danne sig overblik over varighederne i tabel 18, der mest tjener som reference. I tabel 19 nedenfor er kun medtaget totaler for de fire ubetonede vokaler.

	i	u	o	a
AH	48	51	48	64
BN	50	47	48	83
CH	55	52	56	79
MKH	54	56	58	81
Alle	52	51	53	77

Tabel 20. Varigheden af de ubetonede fuldvokaler. Gennemsnit af de forskellige kontekster.

Tabel 19 viser et ret klart mønster. [i u o] er ca. lige lange, godt 50 ms., og [a] er ca. 25 ms. længere. At [a] er længere end de andre vokaler må tilskrives forskellen i åbningsgrad, og vi kan altså se at de absolutte forskelle er lidt mindre end for de betonede vokaler. Man kunne måske have forventet at [o] ville være lidt længere end [u] (og [i]), men det er altså ikke tilfældet. Det skal dog siges at [o] normalt er relativt snæver på dansk ([o-]).

Hvis man begynder at se nærmere på de enkelte vokaler, ser billedet dog ikke helt så entydigt klart ud. Der er visse "interords-forskelle" der ikke er helt nemme at forklare, dvs. forskelle på samme vokal i forskellige testord der ellers har nogenlunde samme struktur. Nedenfor følger de mest oplagte observationer man kan gøre i den



forbindelse.

- (1) a) [i] er længere i *caddies* end i *fattigt*. En mulig forklaring på denne forskel kunne være den finale konsonant, dvs. at lukkelyden [d] forkorter vokalen i forhold til frikativten [s]. Dette er dog ikke nogen specielt sandsynlig forklaring. b) [i] er længere i *caddies*, *Pippi s(in)* end i *fattigt*, *Barbies*, *party s(om)*.
- (2) [u] er (15 ms.) længere i *korpus* end i *fokus*. Den rytmiske struktur i de to sætninger er næsten identisk, og det åbne interval er ca. lige langt i begge ord. Det er med andre ord mere end svært at se hvad der forårsager denne forskel. Ikke desto mindre er den signifikant for alle indtalere. Varigheden i *tabus* er midt i mellem de to andres og signifikant forskellig fra begge (ligeledes for alle indtalere).
- (3) [o] er kortere i *dato* end i de øvrige testord. Bland disse øvrige er der stor individuel variation. Angående *dato* kan den korte varighed ikke forklares med at det åbne interval er særlig langt efter [t], da det er lige så langt i *foto*, hvor [o] faktisk har den største gennemsnitlige varighed af alle fem forekomster (for alle indtalere samlet).
- (4) [a] er længst i *Buddha*. Derefter følger *Garda*, *sabbat*, *Ghita*, med stor individuel variation, især for de to sidstes vedkommende. [a] er kortest i *Botha*. Heller ikke her synes det muligt at kæde forskellene sammen med foregående konsonants artikulationssted eller aspirationsgrad, eller med den foregående vokals åbningsgrad eller varighed, som ellers er de parametre vi tidligere i undersøgelsen har konstateret kan spille en rolle for vokalvarighed.

Der er med andre ord en del eksempler på relativt klare, statistisk signifikante forskelle som ikke umiddelbart kan forklares ud fra konteksten. Det der kan bekymre i den forbindelse er at den ensartethed vi fandt mellem [i], [u] og [o] i høj grad synes at være afhængig af at de konstaterede interords-forskelle har "udlignet" hinanden, dvs. har bevirket at de tre vokaler har ens varigheder. Man kan altså tænke sig at et lidt anderledes udvalg af testord kunne have frembragt væsentlige forskelle mellem vokalerne, hvilket betyder at konklusionen om at [i], [u] og [o] har samme varighed må drages med en vis forsigtighed. Den eneste måde at få bragt større klarhed over de forskelle jeg lige har opridset, vil være at lave en underøgelse med væsentligt flere testord. Indtil det er sket må man blot gå ud fra at målingerne her er nogenlunde repræsentative og benytte dem som udgangspunkt for kodningen af syntesereglerne. Hvis dette synes at føre til underlige varigheder i syntesen, må man overveje at modificere reglerne og evt. lave et supplerende materiale.

#### 4.3.3. Opsummering af varigheden af de ubetonede vokaler.

Hvad angår vokalerne [ə] og [ʌ], så vi at [ə] er ca. 40 ms. lang, og [ʌ] er ca. 20 ms. længere, altså ca. 60 ms. Med hensyn til variationen med antallet af foregående konsonanter er billedet ikke helt klart. I første omgang kunne det se ud som om begge vokaler er kortere efter to konsonanter end efter én. Især [ʌ] blev påvirket en del af denne variation. Det er imidlertid sandsynligt at forskellen ikke så meget skyldes antallet af konsonanter som arten af disse, og at det var påvirkningen fra det indskudte [s] som gjorde vokalerne kortere.

Med hensyn til kodningen af syntesereglerne vil det derfor nok være nødvendigt at tage højde for påvirkningen fra konsonanter som [s] og [f]. I første omgang er der dog ikke noget forgjort i at formulere reglen i forhold til antallet af konsonanter før de ubetonede vokaler. Det vil også give en lejlighed til at afprøve de hypoteser der er blevet fremført her.

Med hensyn til de ubetonede fuldvokaler fandt vi at de snævre vokaler (inklusive [o]) havde en varighed på ca. 50 ms. mens den åbne vokal [a] var ca. 25 ms. længere med 75 ms. Det vil derfor være oplagt at kode varigheden af disse vokaler som en ratio i forhold til de betonedede ækvivalenter. Som udgangspunkt synes en ratio på 0.7 at være passende. Der blev dog konstateret store "interordsforskelle" i materialet, og det er derfor vigtigt at teste resultatet af kodningen på et bredt udvalg af ord med ubetonede fuldvokaler. Som et første skridt skal reglerne selvfølgelig afprøves på det materiale der er blevet brugt til indtalingerne i denne undersøgelse

### References

- Bundgaard, M. (1980): "An acoustic investigation of intrinsic vowel duration in Danish," Annual Report of the Institute of Phonetics, University of Copenhagen 14, p. 99–119.
- Fischer-Jørgensen, E. (1955): "Om vokallængde i dansk rigsmål," Nordisk Tidsskrift for Tale og Stemme 15, p. 33–57.
- Fischer-Jørgensen, E. (1964): "Sound duration and place of articulation," Zs. f. Phon. 17, p. 175–207.
- Fischer-Jørgensen, E. (1980): "Temporal relations in Danish tautosyllabic CV sequences with stop consonants," Annual Report of the Institute of Phonetics, University of Copenhagen 14, p. 207–261.
- Fischer-Jørgensen, E. og B. Hutters (1981): "Aspirated stop consonants before low vowels, a problem of delimitation - its causes and consequences," Annual Report of the Institute of Phonetics, University of Copenhagen 15, p. 77–102.
- Frøkjær-Jensen, B., C. Ludvigsen og J. Rischel (eds) (1971): "A glottographic study of some Danish consonants," pp. 123–140, in *Form and substance. Phonetics and Linguistics Papers Presented to Eli Fischer-Jørgensen*, ed. L. L. Hammerich, R. Jakobson og E. Zwirner (eds), Akademisk Forlag, Copenhagen.
- Holtse, P., "Variationer i vokallængde på dansk," Unpublished manuscript, University of Copenhagen, Copenhagen (1977).
- Hutters, B. (1984): "Vocal fold adjustments in Danish voiceless obstruent production," Annual Report of the Institute of Phonetics, University of Copenhagen 18, p. 293–385.
- Petersen, N. R. (1996): *Elementær statistik*, Institut for Almen og Anvendt Sprogvidenskab, Copenhagen.