

# DETERMINACIONES SOBRE LA CAPACIDAD DE RESPUESTA Y LA FRECUENCIA NATURAL DE UN DISPOSITIVO PARA FONOCARDIOGRAFIA DIRECTA \*

por los doctores

FEDERICO P. ARRIGHI y EDUARDO BRAUN MENENDEZ

Se han realizado determinaciones analíticas que expresan el grado de precisión de los registros gráficos de algunos fonocardiógrafos eléctricos para las distintas frecuencias acústicas (Trendelenburg, 1935; Lockhardt, 1938). En cambio, en lo referente al método directo (método de Frank (1903-1913), modificado por Wiggers y Dean (1917), no se han hecho aún determinaciones precisas.

El método directo ha sido durante varios años el único método que hemos empleado en nuestras investigaciones sobre los ruidos cardíacos (ver Orías y Braun Menéndez, 1937). Pero, dado que las opiniones acerca del valor de este método se encuentran todavía divididas a falta de un estudio analítico del mismo, hemos realizado investigaciones comparando las distintas curvas obtenidas con un aparato emisor de sonidos fundamentales de gran pureza, cuya frecuencia e intensidad podíamos variar a voluntad desde 10 a 10.000 ciclos por segundo.

## MATERIAL

*Audiómetro.* — Se empleó el audiómetro de la Western Electric modelo 6A 245. Consiste en un aparato de alta precisión, emisor de sonidos fundamentales puros (sin armónicas), empleado para determinar la agudeza auditiva. La frecuencia del sonido está marcada en un dial giratorio y la intensidad expresada en decibels en otro dial.

El aparato fué calibrado previamente en la casa importadora. Como dejando el dial de las intensidades en un punto fijo la intensidad del sonido aumenta con el aumento de las frecuencias, se obtuvo en esa misma casa la curva de las intensidades expresadas en decibels para las distintas frecuencias entre 128 y 1.000 ciclos, dejando el dial de las intensidades en su punto máximo.

---

\* Instituto de Fisiología de la Facultad de Ciencias Médicas, Buenos Aires.

La curva así obtenida fué la siguiente (para 1.024 ciclos = 0 decibel):

Frecuencias	128	256	512	1.024
Intensidades	-18	-11.7	-5	0

Al hacer un registro gráfico, obtenemos únicamente amplitudes y frecuencias; por lo tanto para que la precisión fuera mayor deberíamos conocer esa curva obtenida anteriormente en el aparato, pero, expresada también en amplitudes y frecuencias, y no en intensidades decibélicas y frecuencias como se ha hecho. Siendo el decibel una relación logarítmica de dos potencias, fácil es despejar, empleando la fórmula  $E: 2\pi^2 n^2 a^2 M$ , la relación entre la amplitud (a) para una frecuencia (n) cualquiera y la correspondiente a 1.000 ciclos (0 decibel). De este modo la curva anteriormente descripta se convirtió en una curva bastante horizontal en la que las amplitudes corresponden a las ordenadas y la frecuencia a las abscisas. En realidad, esa curva presentaba una ligera elevación de un 12 % al llegar a la frecuencia de 500 ciclos comparada con la altura correspondiente a las amplitudes de las frecuencias de 128 y 1.000 ciclos, como puede verse en la figura 1.

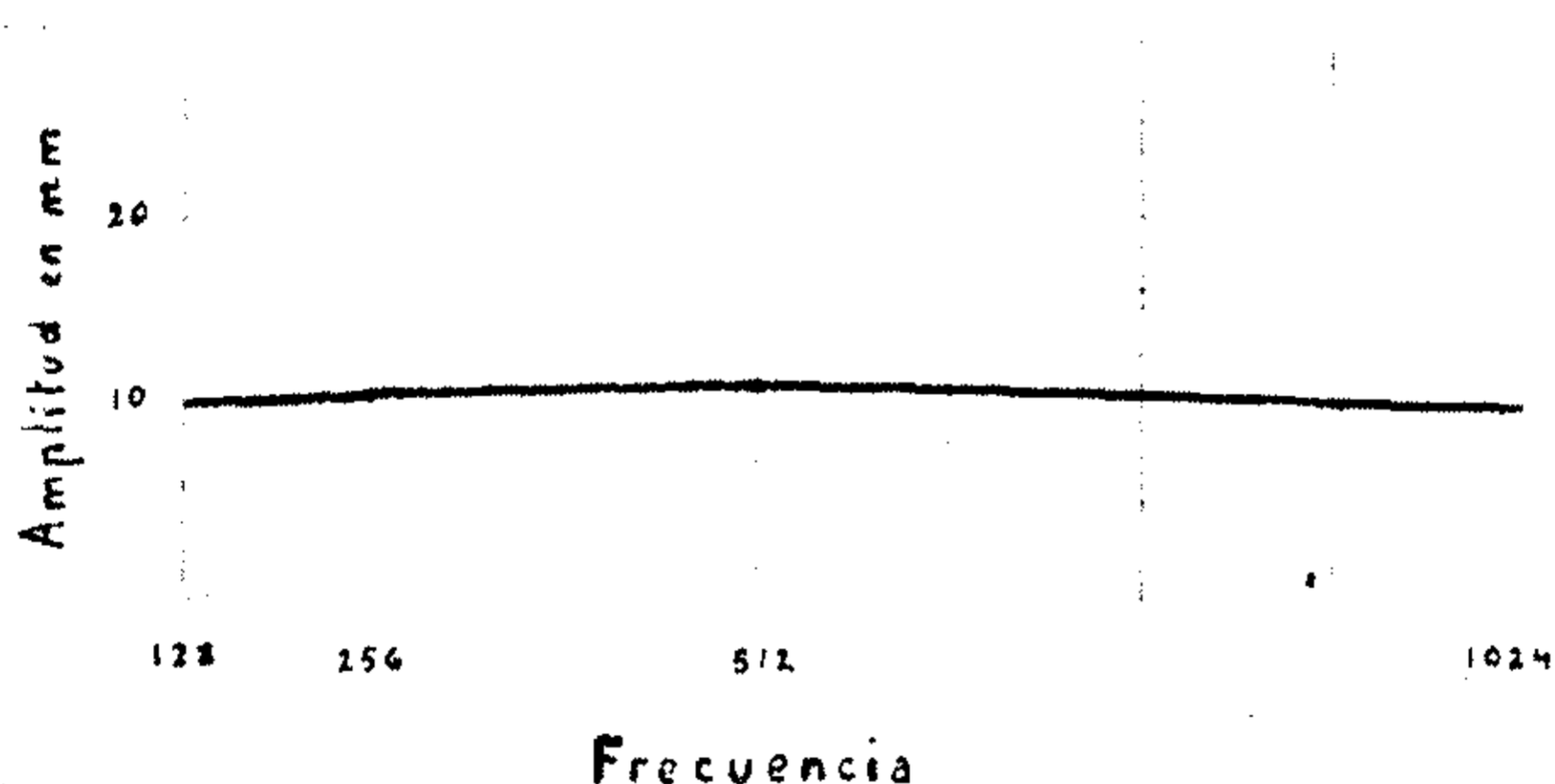


FIG. 1. — Curva de amplitudes y frecuencia del aparato emisor.

La curva anterior corresponde a la energía eléctrica que llega al micrófono auricular. Este último aprovecha sólo una parte de esa energía, pero, como da una curva de respuesta muy plana, no modifica la curva eléctrica anteriormente obtenida.

*Fonocardiógrafo.* — Se utilizó una cápsula de unos 5 mm. de diámetro, obturada por una finísima membrana de una mezcla de solución de goma virgen y de una solución de goma para bicicletas. Se colocó un diminuto espejito rectangular paralelo a la parte achatada de la cápsula. (Para mayores detalles ver Orias, Braun Menéndez, 1937).

Se realizaron así distintas determinaciones, colocando el auricular del audiómetro en íntimo contacto con el receptor del fonocardiógrafo, utilizándose para ello, ya un embudo de vidrio, ya el estetoscopio de Bazzi-Bianchi, y empleando sea las dos aberturas laterales del sistema, sea una de ellas, o el sistema cerrado.

Se registraron distintas frecuencias con intensidades iguales.

## RESULTADOS

A) *Capacidad de respuesta y frecuencia natural.* — Receptor del fonocardiógrafo: embudo de cristal; 2 aberturas laterales abiertas en el tubo que va del receptor a la cápsula; dial de las intensidades en su punto máximo.

Se registraron en esta forma frecuencias de 10 a 2.000. Analizaremos sucesivamente: 1º) la fidelidad en el registro de las frecuencias, y 2º) en el de las amplitudes.

1º) Se consiguieron registrar todas las frecuencias de 12 a 1.400 lo que indica que el método es capaz de registrar frecuencias todavía inferiores a las audibles. Se han podido contar perfectamente con ayuda de un microscopio binocular vibraciones hasta de 1.400 por segundo. Ello da al aparato un amplio margen de frecuencias registrables.

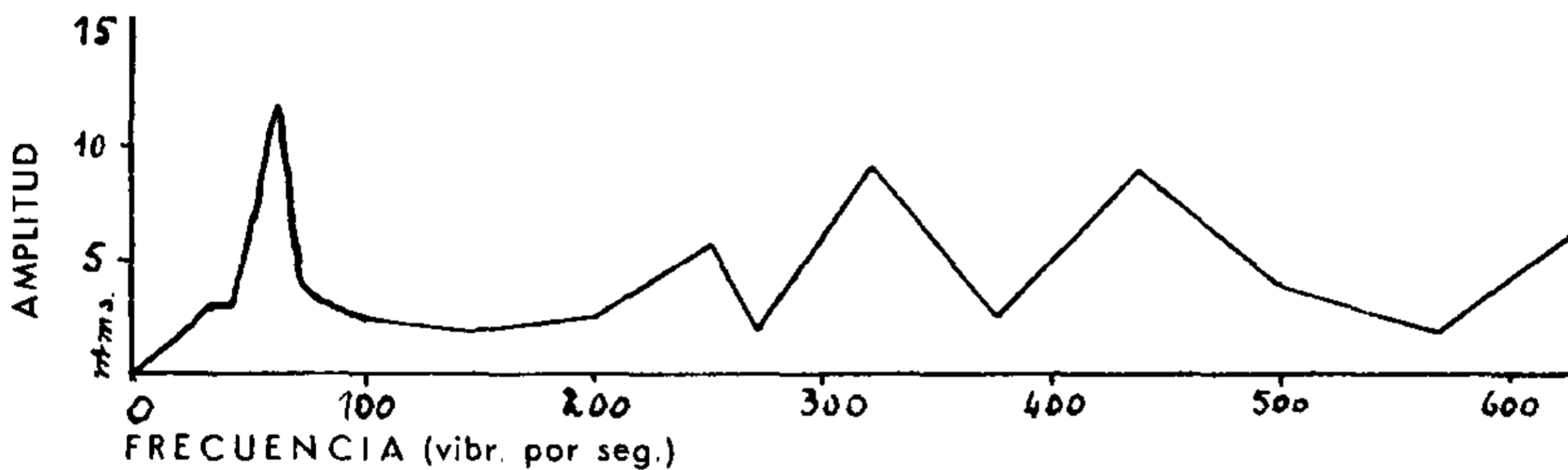


FIG. 2

2º) Refiriéndonos a la precisión con que el aparato inscribe la amplitud de las oscilaciones se ve (fig. 2) la desigualdad en el registro de las mismas, es decir la distorsión en la inscripción de las amplitudes. En efecto las frecuencias de 60, 240, 300, 420, 540, 600, se registraron con mayor amplitud que las frecuencias intermedias. El máximo de amplitud aparece al inscribirse frecuencias alrededor de 60 ciclos, lo que equivale a la medida de la frecuencia natural de todo el sistema: "receptor-tubo-cápsula-membrana-espejo". En esto interviene sobre todo, las propiedades elásticas de la membrana, siendo de menor importancia las cualidades del receptor, tubos, etc., como demostraremos más adelante.

En varios trazados realizados con la misma cápsula pero en distintos días y con distintas membranas de igual composición,

siempre hemos obtenido un gráfico semejante, encontrando que el máximo de amplitud en las oscilaciones del registro correspondía alrededor de 60 ciclos por segundo.

*De esto deducimos que generalmente la frecuencia natural del sistema óptico registrador de Wiggers y Dean, usado por nosotros, es alrededor de 60.*

Este número representante de la frecuencia natural del aparato es muy distinto del que correspondería al exigido por el mismo Wiggers (1937), ya que según este autor, para que el registro sea fiel y no dé distorsiones, la frecuencia natural del sistema registrador debe ser por lo menos cuatro veces mayor que la de la componente más corta de los fenómenos vibratorios a registrar. En realidad basta que la frecuencia natural esté localizada muy por fuera de la zona de frecuencias a registrar, sea por encima o por debajo de éstas, como se hace con los altoparlantes y micrófonos dinámicos actuales. Por otra parte, en una publicación reciente (Boyer, Eckstein y Wiggers, 1940), el mismo autor reconoce que no es necesario una frecuencia tan alta para obtener trazados satisfactorios.

El hecho que el aparato sea capaz de registrar altas frecuencias nada tiene que ver con la frecuencia natural del sistema, ya que se trata de *vibraciones forzadas* (Frey, 1926), es decir, *por encima o por debajo de la frecuencia natural del sistema.*

Como la frecuencia natural del sistema registrador está justamente en la zona media de las frecuencias más comunes correspondientes a los ruidos cardíacos, la distorsión en lo referente a la amplitud para esa zona, es mayor que para otras frecuencias. Sin embargo, este mismo inconveniente ofrece la ventaja de la gran sensibilidad de la membrana para esas frecuencias, que son justamente las que más comúnmente se hallan en los ruidos cardíacos. Hemos comprobado que cuando la intensidad del sonido era pequeña (como en el caso de los ruidos cardíacos), la distorsión de amplitud se atenuaba muchísimo.

Si bien se han registrado frecuencias entre 12 y 1.400 ciclos, fué necesario comprobar que la frecuencia registrada correspondía en realidad a la frecuencia emitida en ese momento. Para ello se registraron frecuencias fijas del aparato, colocando el dial de las frecuencias en distintos puntos: 128, 160, 190, 220, 256, 290 hasta 1.000

ciclos, comprobándose la estricta concordancia del registro con el audiómetro emisor.

Finalmente, para tener una mayor seguridad sobre la frecuencia natural de la membrana se realizaron las siguientes pruebas:

1º) Se colocó el embudo receptor del fonocardiógrafo sobre una mesa permaneciendo abierto de modo que no hubiera amortiguamiento artificial. Se pasó rápidamente la palma de la mano al lado de la abertura del embudo de modo que ese movimiento representase una oscilación de frecuencia muy baja (aproximadamente 1 ó 2 vibraciones por segundo) y se registró en el film. Al examinar el trazado se comprobó una oscilación lenta y muy amplia correspondiente a la frecuencia de la oscilación de la mano, lo que demuestra que la membrana registra todas las frecuencias bajas si tienen suficiente intensidad. Esa oscilación amplia estaba seguida por otras oscilaciones rápidas de frecuencia homogénea y de amplitud logarímicamente decreciente producidas por la frecuencia propia de la membrana (frecuencia natural), que, sacada de su posición de equilibrio, volvía hacia el punto de reposo realizando oscilaciones propias cada vez menos amplias. En estas condiciones no existía amortiguamiento artificial ninguno. Esa frecuencia, que, como decimos, corresponde a la frecuencia natural de la membrana (mejor aún del sistema) era alrededor de 60, lo que concuerda ampliamente con la establecida empleando el método de la resonancia.

Este mismo experimento se practicó realizando la oscilación de la palma de la mano al lado de la membrana (privada de la conexión con el tubo y receptor) obteniendo el mismo resultado, demostrándose así que el acoplamiento de tubos, aberturas y embudos no modifica substancialmente la frecuencia natural del sistema.

B) *Influencia de las partes del sistema registrador.* — Para comprobar la influencia de los distintos *receptores* se registró a una misma intensidad las frecuencias comprendidas entre 10 y 1.024, usando primero el embudo de vidrio y luego el estetoscopio de Bazzi Bianchi (ambos con dos aberturas laterales). La forma fundamental de la curva con sus distintas resonancias no se modificó y era similar a la descrita en la serie anterior, lo que demuestra que el empleo de este estetoscopio no origina modificaciones importantes (ni por filtraje, ni por resonancia de ciertas frecuencias), pudiendo, por lo

tanto, emplearse cuando sea necesario sin que por ello aparezcan errores de consideración.

Para verificar la importancia de la acción del *tubo transmisor con sus aberturas laterales* como factor resonador que amplifique o atenúe más unas frecuencias que otras, se repitió el registro de distintas frecuencias con el dial de las intensidades fijo con una o dos aberturas laterales sucesivamente. Como ambos registros (con una o dos aberturas laterales) no tenían mayores diferencias, la alteración del trazado por los efectos resonadores del tubo con sus aberturas debe ser mínima. La amplitud de las oscilaciones registradas está en proporción inversa al número y tamaño de las aberturas laterales, que actuarían, pues, como simples absorbentes de sonido. Por lo tanto la intensidad de los ruidos a registrar por un lado y la sensibilidad de la membrana por el otro decidirán sobre el número y amplitud de aberturas necesarios para un buen registro.

### CONCLUSIONES

El fonocardiógrafo directo empleado por nosotros si bien registró fielmente todas las frecuencias desde 12 hasta 1.400, registró en cambio, las amplitudes en forma desigual.

La distorsión es mínima cuando las intensidades son poco elevadas como sucede habitualmente con la intensidad de los ruidos cardíacos. Su sensibilidad se manifiesta sobre todo para frecuencias bajas, encontrándose su máximo alrededor de 60 ciclos por segundo (frecuencia natural habitual de la membrana). Las frecuencias altas también las registra hasta 1.400 pero con menor amplitud.

El método directo es adecuado para el registro de los ruidos del corazón que en gran parte están formados por vibraciones de baja frecuencia.

### BIBLIOGRAFIA

- Boyer N. H., Eckstein R. W. y Wiggers C. J. — "Amer. Heart J.", 1940, XIX, 257.
- Frank O. — "Ztsch. f. Biol.", 1908, I, 341; 1913, LIX, 526.
- Frey. — Herztöne und Herzgeräusche. "Hand. d. norm. und pathol. Physiol." Berlin, J. Springer, 1926. Abt. VII, B. 1, 267.
- Lockhardt M. L. — "Amer. Heart J.", 1938, XVI, 72.
- Orias O. y Braun Menéndez E. — "Los ruidos cardíacos", 1937, El Ateneo, Buenos Aires.

- Trendelenburg F.* — "Klänge und Geräusche". Berlin, J. Springer, 1935.  
*Wiggers C. J.* — "Modern aspects of the circulation in health and disease". Philadelphia & New York, Lea & Febiger, 1923.  
*Wiggers C. J. y Dean A. L.* — "Amer. J. Physiol.", 1917, *XIII*, 476.

### RÉSUMÉ

La méthode phonocardiographique directe employée par les auteurs registre fidèlement les fréquences dès 12 jusqu'à 1400, mais avec une amplitude d'une certaine inégalité. La distortion fut minime quand les intensités étaient peu élevées comme il arrive d'habitude avec l'intensité des bruits du coeur. Elle est plus sensible pour les fréquences basses, avec un maximum de 60 cycles p. seg. (fréquence naturelle de la membrane). Elle enregistre aussi les fréquences élevées, jusqu'à 1400, mais avec une amplitude moindre.

### SUMMARY

The direct phonocardiographic system employed by us registered all frequencies between 12 and 1,400 but with unequal amplitude. This distortion was less when the intensity of the recorded sound was low as is the case with the heart sounds. It has greater sensitivity for low frequencies with a maximum at about 60 cycles per second (natural frequency of the membrane). Higher frequencies up to 1,400 per second, were also recorded but with less amplitude.

It is concluded that the direct method of phonocardiography is adequate for the recording of heart sounds which are mostly formed by low frequency vibration.

### ZUSAMMENFASSUNG

Obwohl das von uns gebrauchte direkte Phonokardiogramm alle Frequenzen zwischen 12 und 1400 genau einzeichnete, registrierte es hingegen die Amplituden unregelmässig. Die Distortion ist minimal wenn die Intensitäten gering erhöht sind, was im allgemeinen mit der Intensität der Herztöne geschieht. Seine Sensibilität äussert sich besonders bei geringen Frequenzen; das Maximum findet man um 60 Zyklen pro Sek. herum (habituelle natürliche Frequenz der Membrane). Die hohen Frequenzen werden bis 1400 ebenfalls registriert, aber mit einer geringeren Amplitude. Die direkte Methode eignet sich für die Registrierung der Herztöne, die sich grösstenteils aus Schwingungen niedriger Frequenz zusammenstellen.