Apéndice 2.21 - ALEMANIA – Túnel Kö-Bogen en Düsseldorf

1. RESUMEN – RED DE TÚNELES Y APARCAMIENTOS SUBTERRÁNEOS

El túnel Kö-Bogen es una red subterránea situada en la ciudad de Düsseldorf (Alemania) con varios túneles interconectados, como se muestra en la Figura 1 y Figura 2. Básicamente está constituido por tres calles que estaban al aire libre y se enterraron mediante la construcción de un túnel artificial excavado entre pantallas.

El túnel consta de dos tubos principales "Sur-Norte" y "Norte-Sur" y de dos laterales "Sur-Oeste" y "Norte-Oeste" conectados a los principales. Todos los tubos son unidireccionales. Además, hay tres aparcamientos subterráneos: "Kö-Bogen", "Schauspielhaus" y "Dreischeibenhaus".

Los aparcamientos subterráneos "Schauspielhaus" y "Dreischeibenhaus" son accesibles mediante un ramal helicoidal subterráneo que conecta los dos aparcamientos con el túnel (Figura 1).

El túnel está gestionado por la ciudad de Düsseldorf y el aparcamiento "Kö-Bogen" es público, pero gestionado por un propietario privado. El aparcamiento "Dreischeibenhaus" es privado y se utiliza por los empleados del edificio de oficinas Dreischeibenhaus. El aparcamiento "Schauspielhaus" es público y también está gestionado por un propietario privado.

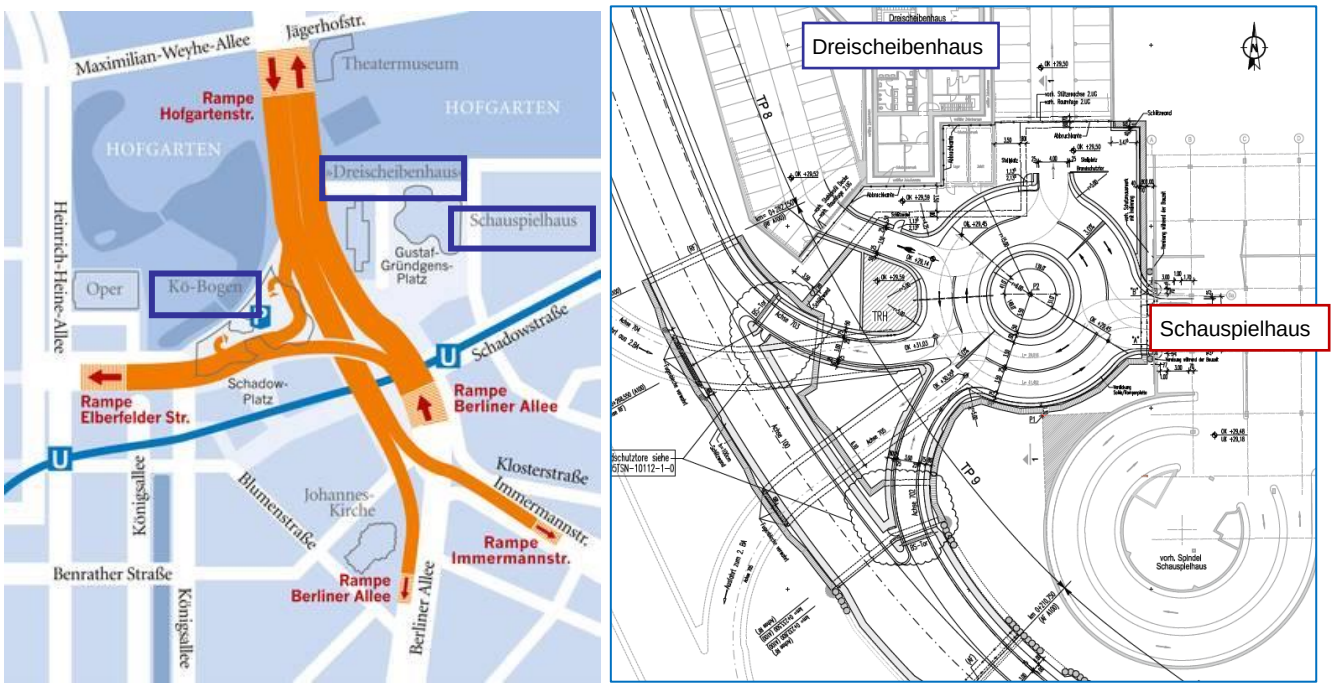

Figura 1 – Túnel Kö-Bogen y ramal helicoidal subterráneo para el acceso a los aparcamientos

Figura 2 – Túnel, acceso al aparcamiento subterráneo y ramal

El túnel se construyó para liberar espacio en el centro de la ciudad y para crear un tercer aparcamiento subterráneo. Además, se amplió el lago "Landskrone" y se plantaron árboles en lugar del antiguo paso elevado "Tausendfüssler". El proyecto se desarrolló en dos fases. La Figura 3 muestra la secuencia de construcción, en la que lo representado en rojo corresponde a la primera fase y en azul a la segunda.

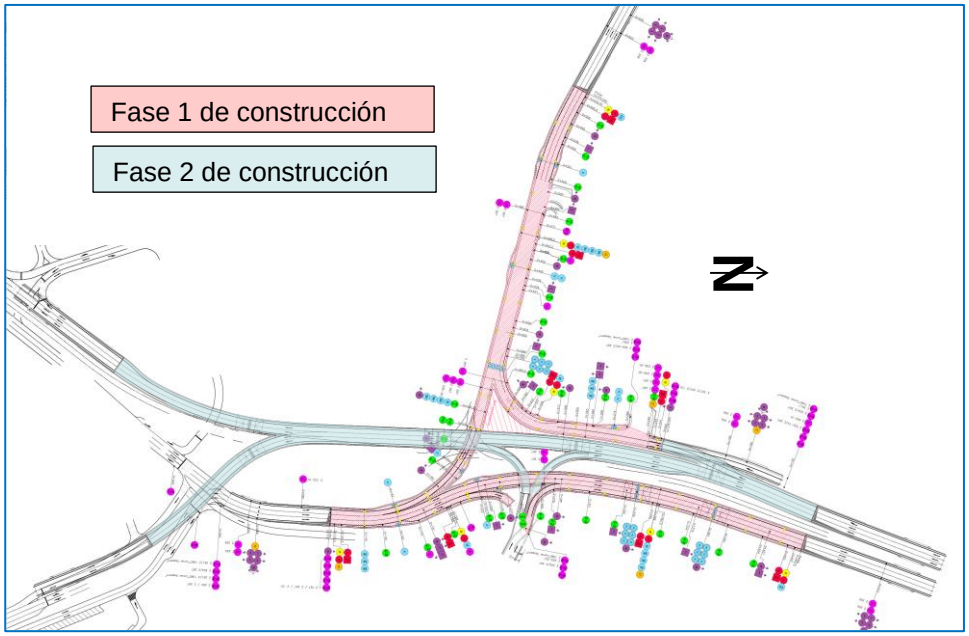

Figura 3 – Esquema general de las dos fases de construcción

2. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS

2.1 GEOMETRÍA

- La longitud de los tubos varía de 86 m a 495 m. La longitud total de todos los tubos es de 1398 m.
- La inclinación del perfil longitudinal es del 4 % y del 8 % hacia las bocas.
- La pendiente en general es del 4 % y un máximo del 5 %.
- Hay 6 ramales para conectar con la red de superficie y varios ramales subterráneos para acceder a los aparcamientos.
- Carril de emergencia: Debido a la corta longitud del túnel, de aproximadamente 900m, no hay carril de emergencia en los tubos principales. Solo los ejes 300 y 500 (Achse en Figura 4) tienen carril de emergencia.
- El gálibo es de 4,95 m excepto para el acceso a los aparcamientos subterráneos.

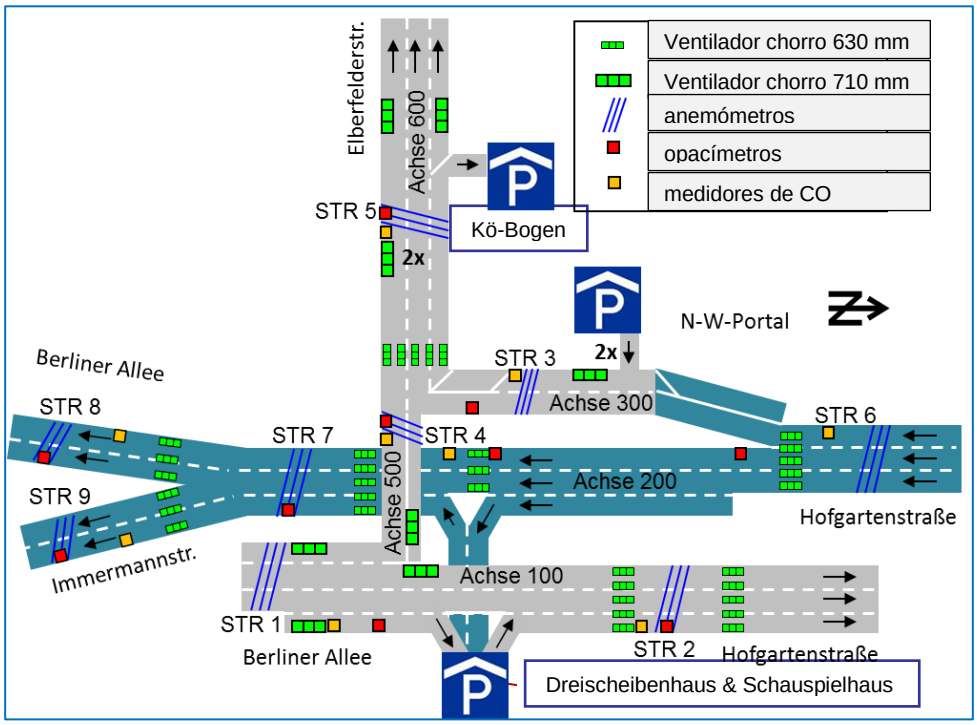

Figura 4 – Situación de los ventiladores de chorro y dispositivos de medición

2.2 SECCIÓN TRANSVERSAL

El túnel es unidireccional con anchura variable de uno a tres carriles. Los ventiladores de chorro están instalados bien en nichos en el techo o bien en los hastiales, tal y como se muestra en la Figura 4 y Figura 5.

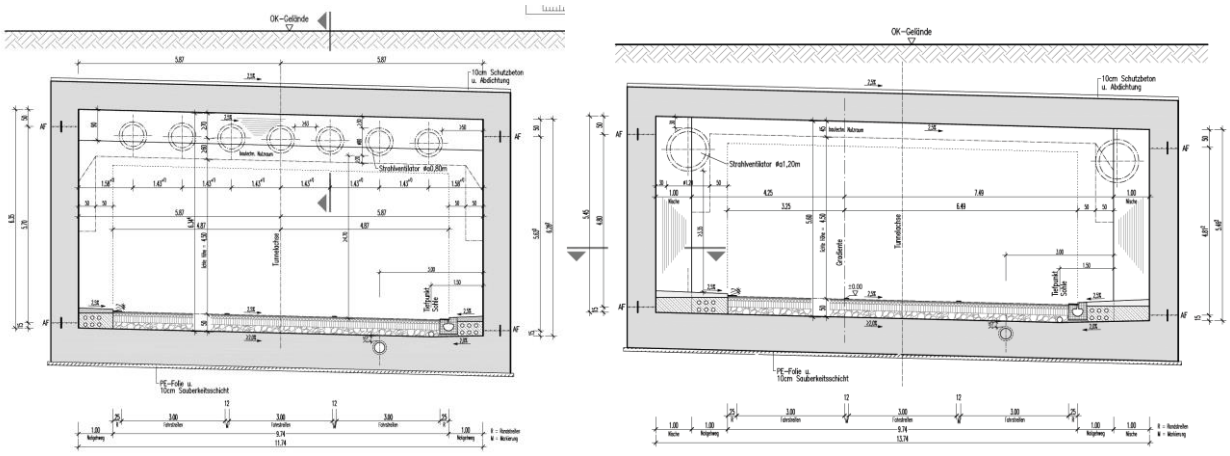

Figura 5 – Sección transversal

Dada la complejidad del sistema de túneles, existen diferentes secciones transversales:

Disposición general		**2 carriles** **Ejes 100, 200, 400**	
Carril	3,00 m	Ancho de los carriles	6,62 m
Carril de emergencia	2,00 m	Gálibo	4,95 m
Acera	1,00 m	Sección transversal	42,67 m²
1 carril – conexión con el aparcamiento subterráneo		**3 carriles** **Ejes 100, 200, 300**	
Ancho del carril	3,50 m	Ancho de los carriles	9,74 m
Gálibo	2,30 m	Gálibo	4,95 m
Sección transversal	10,35 m²	Sección transversal	58,11 m
1 carril con carril de emergencia **Ejes 300, 305, 500**		**3 carriles con ramales de salida** **Ejes 100, 200**	
Ancho del carril	5,50 m	Ancho de los carriles	9,87 m
Gálibo	4,95 m	Gálibo	4,95 m
Sección transversal	37,13 m²	Sección transversal	58,76 m²

2.3 CONDICIONES DEL TRÁFICO

- Vehículos pesados — permitido, siendo el porcentaje medio del 2,0 %
- Vehículos de mercancías peligrosas — prohibido
- Autobuses — permitido
- Bicicletas y peatones — prohibido
- IMD (Intensidad media diaria) — Unos 30.000 veh/día en los tubos principales (Figura 6)
- Límite de velocidad — 50 km/h en toda la red y 40 km/h en una curva de longitud reducida en el tubo norte-Oeste
- Detección de congestiones y atascos — Existen sistemas de conteo en el túnel con aviso de. alarma al operador

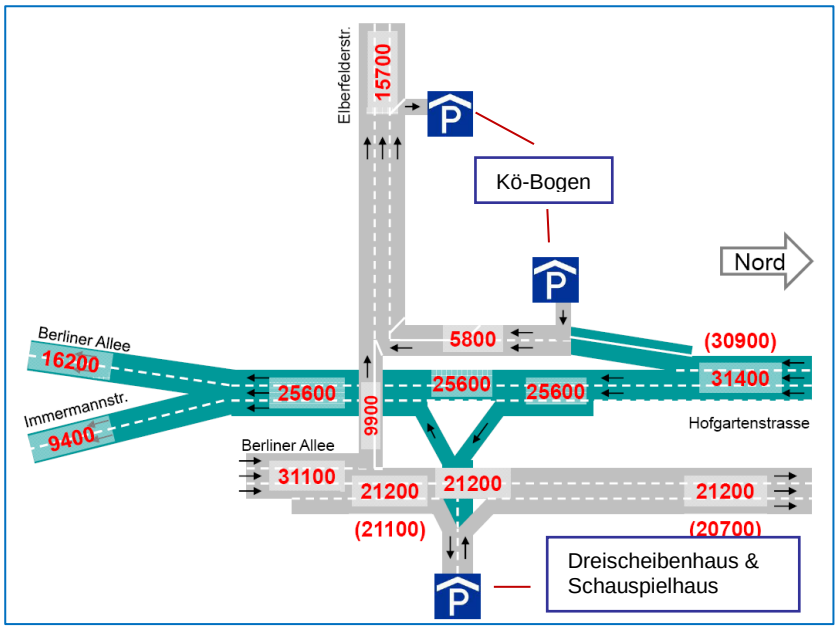

Figura 6- Intensidad de tráfico

El riesgo de congestión en la red es bastante bajo.

2.4 SEÑALIZACIÓN

No hay señalización variable en el túnel, existiendo sólo en las entradas para facilitar su cierre si fuera necesario.

3. VENTILACIÓN

El túnel está equipado con un sistema de ventilación longitudinal que incluye dos tipos diferentes de ventiladores de chorro: 10 ventiladores reversibles con un diámetro de 730 mm, instalados en nichos en los hastiales y otros 34 también reversibles de un diámetro de 630 mm instalados en nichos en el techo.

En condiciones normales de funcionamiento, la ventilación mecánica está en "posición de apagado" y el túnel se ventila por el efecto pistón de los vehículos. Si esto es insuficiente, la ventilación se pone en marcha automáticamente, en función de los valores medidos de visibilidad y monóxido de carbono.

La ventilación en caso de incendio tiene los objetivos siguientes:

- En caso de vehículos en movimiento: debe establecerse una corriente de aire con una velocidad mínima de 3 m/s.
- En caso de congestión o atasco: debe establecerse una corriente de aire mínima de 1,2 m/s.

Las congestiones o los atascos se detectan automáticamente mediante espiras. En caso de que se detecte un incendio, la ventilación arranca automáticamente por defecto. Tras la fase de autoevacuación, los bomberos tienen la posibilidad de gestionar manualmente la ventilación para rescatar a más personas o combatir el incendio. El sistema de detección de atascos todavía no está operativo, por lo que la estrategia de ventilación en caso de atascos se utiliza igualmente que para el caso de vehículos en movimiento. Cuando este sistema esté plenamente operativo, la ventilación en caso de incendio se adaptará a las condiciones de congestión, de atasco o de vehículos en movimiento.

4. EQUIPAMIENTOS DE EXPLOTACIÓN Y DE SEGURIDAD

❑ Videovigilancia

Hay cámaras instaladas en el túnel a intervalos de 60m. Las cámaras en las bocas son móviles y pueden controlarse a distancia. Todas las cámaras están equipadas de una evaluación automática de la imagen, lo que permite una mayor eficacia y rapidez de intervención.

❑ Salidas de emergencia

Además de la evacuación a través de las bocas, se han previsto salidas de emergencia conectadas a la superficie por medio de escaleras cerca del centro de control del túnel. Esto garantiza que la distancia entre las salidas de emergencia sea inferior a 300m. (Figura 7).

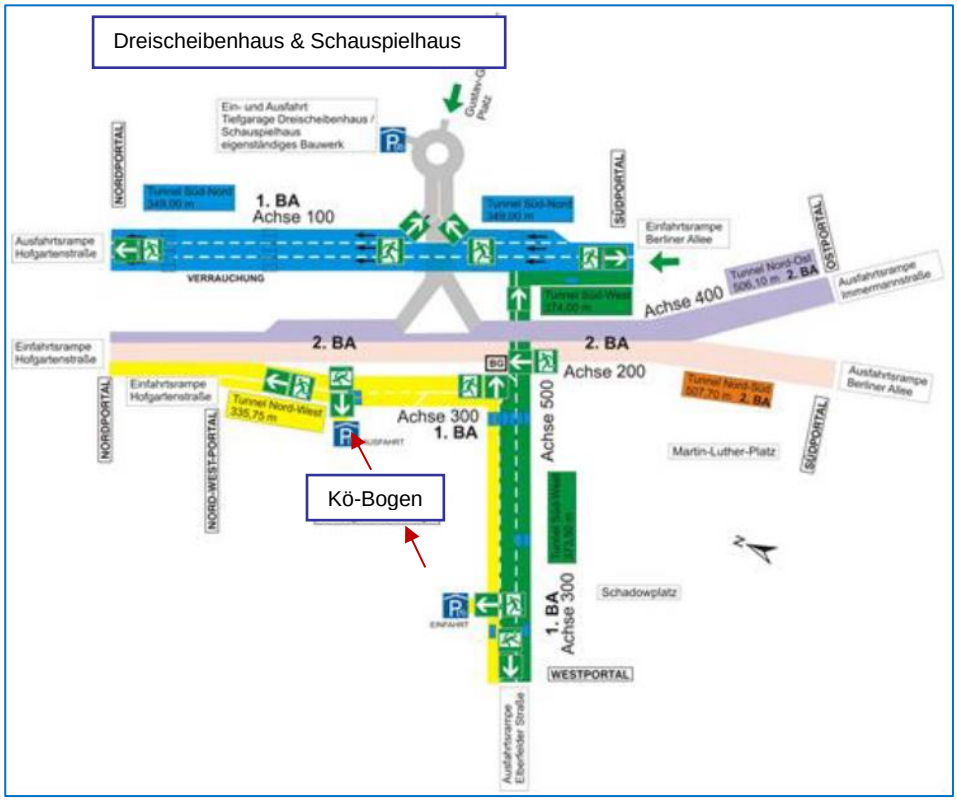

Figura 7 – Esquema general de las salidas de emergencia

❑ Puertas cortafuegos

Se dispone de puertas cortafuegos entre el túnel y los aparcamientos subterráneos. En caso de incendio, estas puertas se cierran con el fin de independizar ambos sectores, lo que permite que los sistemas de ventilación de los que están dotados entren en funcionamiento de manera autónoma.

❑ Contaminación acústica

Los ventiladores de chorro están equipados con dispositivos de atenuación de ruido.

5. ORGANIZACIÓN Y EXPLOTACIÓN

Dado que las cuatro infraestructuras Dreischeibenhaus, Libeskindgebäude (sobre el aparcamiento Kö-Bogen), el ramal helicoidal y el propio túnel están interconectadas, deben gestionarse las numerosas interrelaciones de manera conjunta en caso de incidente o de incendio. Cada una de ellas tiene su propio sistema de detección de incendio y si se produce una alarma en cualquiera de ellas, ésta se transferirá automáticamente a la central de alarma del resto de acuerdo con el siguiente protocolo:

Localización de la alarma	Acción
Alarma en el túnel	Transferida a Dreischeibenhaus, a Libeskindgebäude y al ramal helicoidal
Alarma en Dreischeibenhaus	Transferida al ramal helicoidal
Alarma en Libeskindgebäude	Transferida al túnel
Alarma en el ramal helicoidal	Transferida a Dreischeibenhaus

El restablecimiento de la alarma de incendio se realiza manualmente.