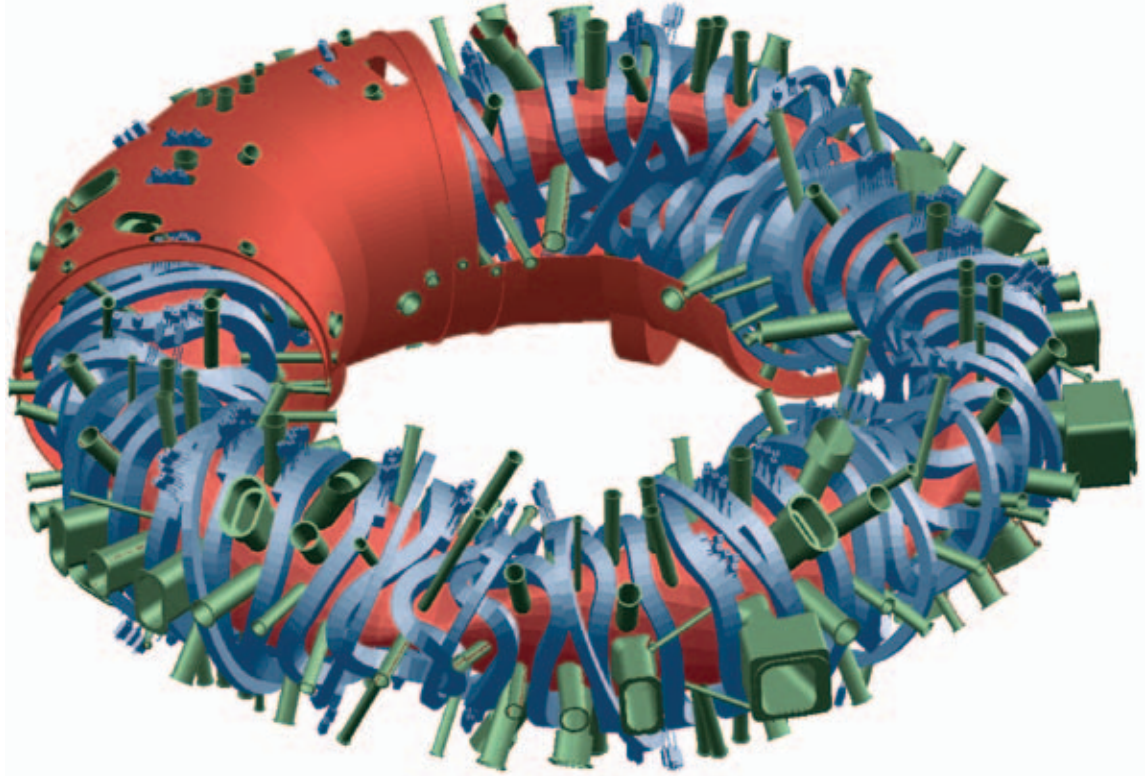


태양과 같은 방법으로 에너지 생성

진공은 융합 조건을 구축하는 기술을 제공합니다.

핵 융합을 사용한 에너지 생성은 청정한 대체 에너지를 모색함에 따라 점점 더 중요해지고 있습니다. 지난 세기인 1950년대 초반부터 전세계의 과학자들은 평화 목적으로 핵 융합의 사용을 시도해왔습니다. 결국 이 프로세스는 태양에서 완벽하게 이루어집니다. 그러나 태양에 주로 존재하는 극한적인 조건을 모방한다는 게 물리학자와 엔지니어가 극복해야 하는 어려운 문제임이 드러나고 있습니다. 기본적으로, 이는 2개의 수소 동위 원소를 한 번에 서로 융합시켜 새로운 헬륨 핵을 형성하는 문제입니다. 이 과정이 진행되는 동안, 헬륨과 하나의 중성자가 형성될 뿐만 아니라 상당히 대량의 에너지가 형성됩니다. 방출되는 이 에너지가 다음과 같이 전기를 생성하는 데 사용하게 됩니다. 이론적으로 단 1그램의 연료를 사용하여 발전소에서 90,000 킬로와트를 생성할 수 있습니다. 이는 미터법으로 11톤의 석탄이 만들어내는 연소열에 해당합니다. 융합 연구에서 제기되는 어려운 과제는 핵을 서로 융합하는 일입니다.

발전소에서의 융합을 위해 지구에서 태양의 고유 조건 복제가 실현 가능하지 않기 때문에 이는 융합이 플라즈마 온도가 약 1억 내지 1억 5,000만 켈빈으로 높은 고진공과, 입방미터당 10^{20} 의 비교적 낮은 밀도에서만 발생할 수 있다는 걸 의미합니다. 가열 과정 후, 핵인 전자로부터 분리되어 플라즈마를 형성합니다. 전하를 띤 핵이 매우 강한 자기장의 도움으로 원자료를 통해 유도되어 원자로 벽으로부터 거리를 유지합니다. 2의 원자 핵이 서로 접근하거나 심지어 충돌할 경우, 이들은 융합되어 대량의 에너지를 방출합니다. 이번에는 이 에너지의 일부로 인해, 플라즈마가 동일한 온도로 남아 추가적인 에너지 투입 없이도 현 상태를 유지하게 됩니다. 물론 목적이 발전을 위한 에너지 생성일 경우, 에너지 밸런스가 양수여야 합니다. 발전소에서 핵 융합 동안 잉여 에너지가 생성될 경우에만 발전할 수 있습니다.



컴퓨터 그래픽: 벤델슈타인 7-X 융합 원자로의 저온 유지 장치, 자기 코일 및 플라즈마 용기(그림: IPP)

현재 토카막과 스텔러레이터 원리를 연구하는 발전소는 융합 연구에서 이미 성과를 입증한 바 있습니다. 두 개의 원자로는 토로이달 자기장에 플라즈마를 가둡니다. 토카막 원자로는 대형형 설계로서 플라즈마를 통과하는 강한 전류를 통해 폐쇄 자기장의 일부를 형성합니다. 반면, 스텔러레이터는 외부 코일에 의해서만 생성되는 자기장으로 플라즈마를 가둡니다. 이로써 복잡한 비대칭형 원자로 형태를 만들어냅니다.

융합 기술 연구에 드는 고비용에 직면한 개별적인 국가 연구 프로젝트가 점점 더 국제적인 공동 프로젝트로 통합되는 추세를 보이고 있습니다. 현재 국제적인 참여로 유럽 대륙에서 건설 중인 2개의 대형 연구 프로젝트로 프랑스의 카다라쉬의 ITER 토카막 프로젝트와 독일 그라이프스발트의 벤델슈타인 7-X 분리기 프로젝트가 있습니다. ITER 프로젝트의 목적은 항상 에너지를 생성하는 데 있는 한편, 벤델슈타인 7-X 융합 실험은 에너지 생성에 초점을 맞추지 않은 채 연소 기간을 약 30분 동안 지속하는 것을 목적으로 하고 있습니다. 벤델슈타인 7-X는 주요 실험 프로젝트입니다. 이 프로젝트의 목적은 스텔러레이터 발전소의 타당성을 입증하는 데 있습니다. 이는 현재 세계 최대의 스텔러레이터 기반 융합 실험 프로젝트입니다.

융합 원자로 내에서 진공 기술에 요구되는 조건

벤델슈타인 7-X는 필수적으로 2개의 인터페이스 방식의 토로이달 진공 용기로 구성됩니다. 외부 저온 유지 챔버에는 자기장을 생성하는 데 필수적인 초전도 코일용 절연 및 진공 기술이 채택되었습니다. 내부 챔버, 즉 플라즈마 용기가 고진공 환경에서 실제 플라즈마를 생성하는 데 사용됩니다.

기술 데이터:

	벤델슈타인 7-X
큰 플라즈마 반경	5.5 미터
작은 플라즈마 반경	0.53 미터
자기장	3 테슬라
방전 시간	최대 30분, 전자레인지 가열에 의한 지속적인 작동
플라즈마 가열	20 메가와트
플라즈마 체적	30 입방미터
플라즈마 양	5 - 30 밀리그램
플라즈마의 구성	수소, 듀테륨, 헬륨
플라즈마 온도	6,000만 켈빈

융합 반응기 작동에 대한 중요한 요인으로 강하고 신뢰성 있으며 강력한 진공 시스템의 존재를 들 수 있습니다. 따라서 모든 진공 구성품은 융합 실험에서의 사용 적합성을 보장하기 위해 독일 막스 플랑크 플라즈마 물리학 연구소(IPP)의 적격성 확인 절차에 합격해야 합니다.

최대 3 테슬라까지의 강한 자기장은 전기적으로 전하를 띤 플라즈마 입자를 벵델슈타인 7-X의 내부 플라즈마 용기에 가둡니다. 플라즈마 용기를 둘러싼 자기장이 강하기 때문에 플라즈마 용기에서 4 내지 9미터가 떨어진 특별 마운트에 진공 기술을 설치해야 합니다. 이러한 거리에서도, 자기장은 여전히 7 밀리테슬라의 강도에 이르며 가끔 20 밀리테슬라에 이르기도 합니다. 이러한 자기장 강도는 지구의 자연 자기장에 비해 거의 1,000배가 높습니다.

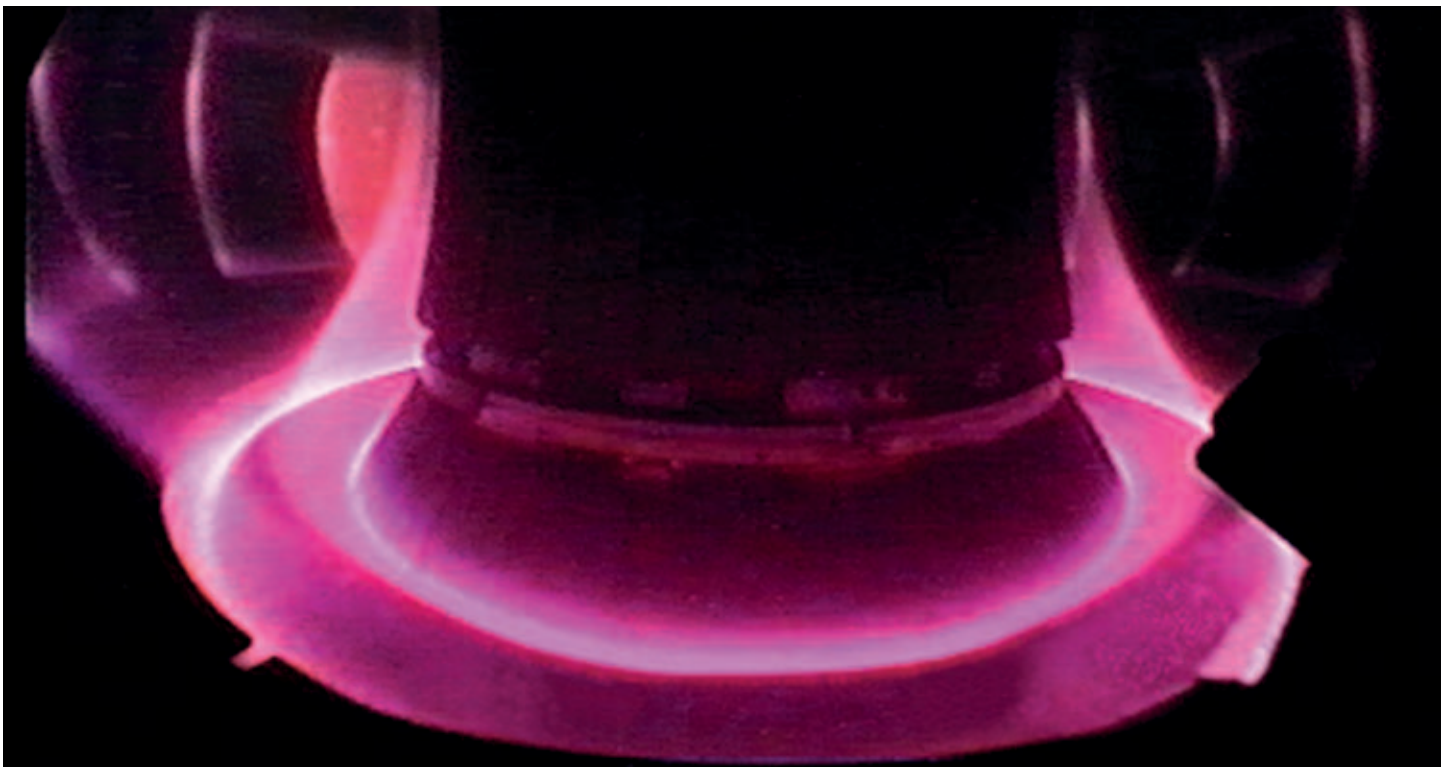
플라즈마 용기의 기본 10^{-8} 헥토파스칼 압력에 도달하려면, 100 입방미터의 용기 체적뿐만 아니라 대략 1,300 평방미터의 내부 표면에서 방출된 기체 부하를 펌프 다운해야 합니다. 이 밖에, 사용되는 진공 펌프가 융합 과정에 관여하는 수소, 듀테륨, 헬륨과 같은 경량 기체를 펌프 다운하는 데 필요한 높은 압축비에 도달할 수 있어야 합니다. 터보 펌프와 플라즈마 용기의 표면을 코팅하는 데 사용되는 재료 사이의 호환성이 좋아야 한다는 게 추가적인 요구 조건입니다.

정보

플라즈마

물리학에서, 플라즈마는 자유 전자와 이온화된 원자가 발생하는 기체 상태입니다. 이러한 상태는 고온에서(열 감소) 또는 예를 들어 강한 전기장(번개, 가스 방전 램프)을 통해서도 획득할 수 있습니다. 고온($\approx 5,000$ 켈빈)에서 기체가 거의 완전히 감소하여 플라즈마를 형성합니다. 플라즈마는 예를 들어 얼음에서 물로 바뀌면서와 같이 한 위상에서 다른 위상으로의 위상 전이를 통해 생성되지 않고, 반응을 통해 생성되면서 중성 원자를 이온과 전자로 붕괴시킵니다. 이 과정에서, 중성 원자와 전하를 띤 이온 사이에 밸런스를 이룰 수 있고, 이는 사하 방정식으로 설명됩니다.

훨씬 더 높은 온도에서 원자 핵을 완전히 해체할 수 있는데, 이는 핵 융합에서 중요합니다. 일반적으로, 플라즈마는 최소립자로서 전자와 양이온 또는 원자 핵이 있는 기체와 같이 작용합니다. 이러한 속성 때문에 플라즈마는 양호한 전도체입니다.



융합 원자로에서의 플라즈마 방전 사진. (그림: IPP)

파이퍼 베콤에서 개발한 솔루션

진공 시스템에서 충족해야 하는 높은 작동 및 품질 요구조건에 견주어 볼 때, 파이퍼 베콤은 이 프로젝트의 역량 있는 파트너로서 자격을 성공적으로 갖추었습니다. 필요한 진공 장비를 벤델슈타인 7-X 핵융합 실험의 전문가와 함께 주의해서 선정하고 다음과 같은 요구조건과 사용조건을 검증했습니다.

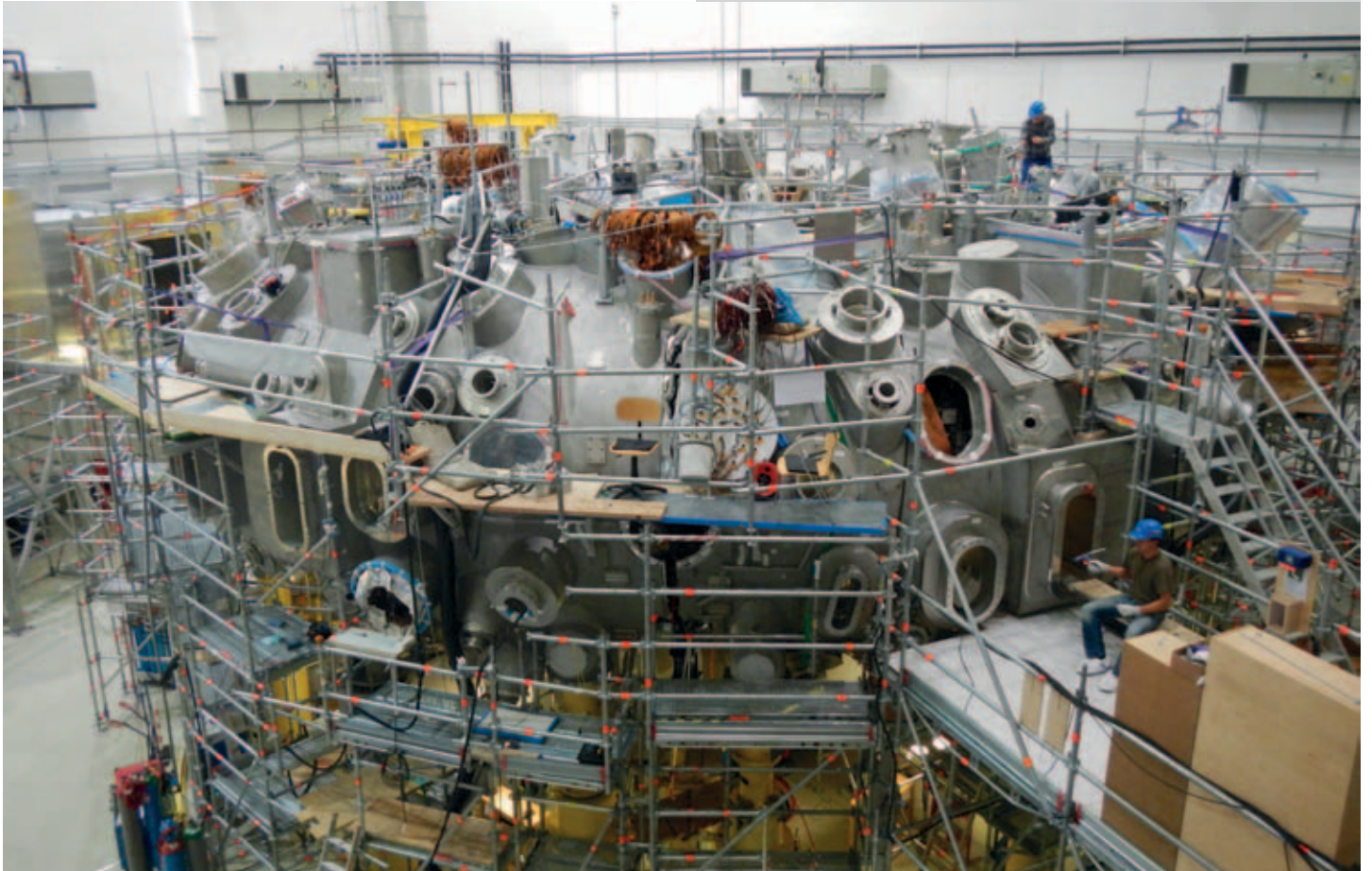
터보 펌프

두 개의 진공실 모두 파이퍼 베콤 HiPace 터보 펌프를 사용하는데, 정격 펌프 속도가 초당 2,000리터로서 특히 융합 실험의 엄격한 요구조건을 충족시킵니다. 플라즈마 용기에서만, 설치된 모든 터보 펌프가 모두 합쳐 초당 약 40,000리터의 펌프 속도를 제공합니다.

실험 설비 주변에 존재하는 강한 자기장 때문에 고속 회전 터보 펌프 로터에서 자기에 의한 와상 전류가 유도되고, 그 결과 많은 열이 펌프로 전달됩니다. 특별 베어링 원리와 HiPace 터보 펌프의 내부 구조로 대량의 열을 확실히 전달할 수 있고, 따라서 일련의 테스트에서 펌프가 외부 자기장에서 열에 의한 작동상 신뢰성을 보였습니다. 이러한 파이퍼 베콤 터보 펌프의 자기장 호환성이 좋다는 것은 그로 인해 펌프를 플라즈마 용기 가까이에 설치할 수 있다는 장점을 의미합니다. 그 결과 필요한 파이프 길이가 짧아지기 때문에 플라즈마 용기에서 펌프 속도를 효과적으로 높일 수 있습니다.



HiPace 2300 터보 펌프(여로 든 사진)



메인 설치 단계 완료 직전인 2014년 3월의 벤델슈타인 7-X. (그림: IPP, 베아테 캠퍼스)

작동상 기계적인 신뢰성을 최대화하도록 고안된 하이브리드 베어링 터보 펌프의 토크가 매우 낮다는 것이 추가적인 장점입니다. 펌프를 고정할 때 허용되는 토크는 다른 종류의 구조와 비교할 때 3 내지 4분의 1로 낮습니다.

측정 기술

열악한 조건에서 사용하기 위해 특별히 개발된 파이퍼 베콤의 압력계를 진공실에서 사용했습니다. 막스 플랑크 연구소에서 앞서 강한 자기장에서 사용되는 측정 장비의 호환성을 성공적으로 평가했습니다. 사용되고 있는 견고한 저온 음금 진공 측정기는 플랜지에 전자 구성품이 없는 패시브 센서로서 고안되었습니다. 전자 평가 장치를 안전한 영역에서 몇 미터 떨어지게 배치하고 긴 케이블을 사용하여 패시브 센서에 연결합니다. 또한 표유가 심한 자장이 발생해도 압력을 표시할 수 있도록 센서를 추가적으로 차폐합니다.

진공 구성품

수백 개의 특별한 진공 호환 연결 요소와 배관 구성품이 진공 생성을 위해 필요하고, 이들을 독일 막스 플랑크 플라즈마 물리학 연구소의 엄격한 사양에 따라 제조해야 합니다. 신뢰성 있게 작동하는 진공 시스템과, 이에 따른 전반적인 융합 실험에는 고정밀 제조, 자기 침투성이 최적이고 코발트 함유량이 낮은 적합한 재료, 레이저 용접과 같은 최첨단 기술의 사용, 필요한 품질 인증 등이 포함됩니다.

파이퍼 베콤은 터보 펌프를 장착하기 위해 몇 개의 특별한 구성품을 DN 400 ~ DN 250 명목 직경 범위로 제공했고, 또한 플라즈마를 육안으로 모니터링하기 위한 배관, 플랜지, 침수 파이프용 구성품을 공급했습니다. 대체로, 파이퍼 베콤은 미터법으로 총무게가 12톤인 스테인레스 스틸 진공 구성품을 융합 실험 설비로 그라이프스발드에 공급했습니다.

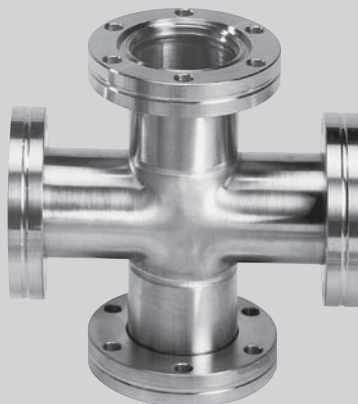
헬륨 누출 탐지

진공 시스템이 2014년 중반 설치되었고 현재 커미셔닝 과정에 있습니다. 다양한 챔버를 진공 배기하기 전에, 2,000곳 이상의 용접부와 추가 플랜지 연결부의 헬륨 누출 기밀성을 개별적으로 테스트하고 확인해야 합니다.

일부 용접부에 접근하기 어렵기 때문에, 그라이프스발드에서 파이퍼 베콤 ASM 310 휴대용 누출 감지기를 사용하기로 결정했습니다. 이러한 결정에 대한 결정적인 요인은 가장 낮은 헬륨 누출률을 추적하는 데 있는 탁월한 신뢰성입니다. ASM 310의 경량 구조와 컴팩트한 크기 때문에 검사할 접합부까지 운송하는 게 쉽고 따라서 이러한 종류의 사용에 매우 적합합니다.



ModulLine IKR 070



특별 배관 구성품



헬륨 누출 감지기 ASM 310

원스톱으로 제공되는 진공 솔루션

파이퍼 베콤은 전세계에 걸쳐 혁신적인 고객 맞춤형 진공 솔루션, 기술적인 완벽성, 역량 있는 조언, 신뢰성 있는 서비스를 제공합니다.

완전한 제품군

간단한 구성품에서 복잡한 구성품까지:
당사는 종합적인 제품 포트폴리오를 제공하는 유일한 진공 기술 공급업체입니다.

이론과 실재를 바탕으로 갖춰진 뛰어난 역량

당사의 노하우와 교육 기회의 포트폴리오에서 얻을 수 있는 이점!
당사는 전세계에 걸쳐 플랜트 레이아웃을 지원하고 최고의 현장 서비스를 제공합니다.

완벽한 진공 솔루션을 찾고 계
십니까 당사로 문의하십시오.

파이퍼베콤 GmbH
본사 · 독일
전화: +49 6441 802-0
info@pfeiffer-vacuum.de

www.pfeiffer-vacuum.com

모든 데이터는 사전 통지 없이 변경될 수 있습니다. P10391PKR (2015년 7월/1)



PFEIFFER  VACUUM