

# DFAB HOUSE

## Geçmişin Dijital Yorumu ile Geleceğe Bakış

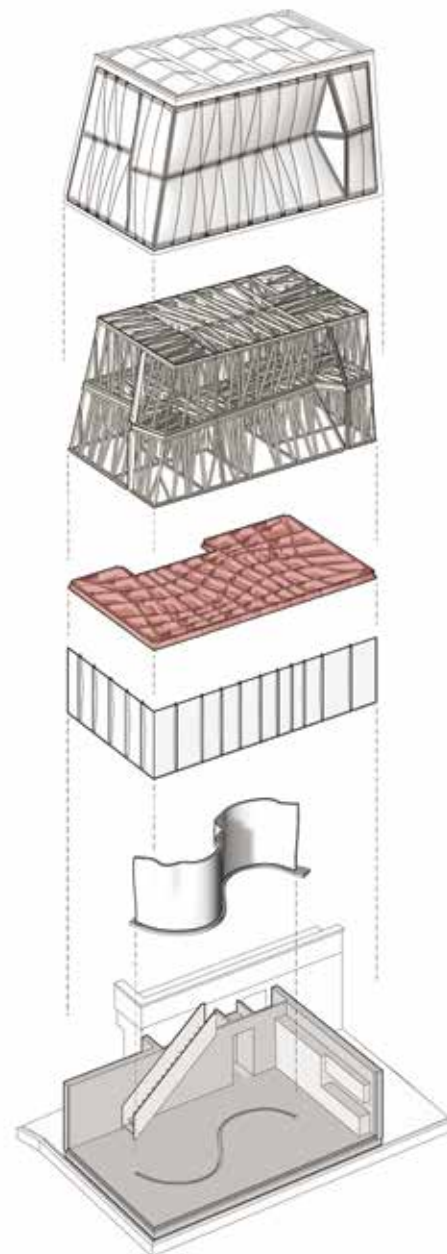
Zürih Dübendorf'da, araştırma kurumları Empa ve Eawag'ın yenilikçi araştırma ve uygulamalarını barındırmak üzere planlanan laboratuvar binası 2016'da tamamlandı. Bu yapının en üst kotunda yer alan üç katlı DFAB HOUSE bu amaçla inşa edilmiş birimlerden biriydi. Konsept projesi Matthias Kohler ve Konrad Graser tarafından geliştirildi; ETH Zürich'den araştırmacılar ve 40'dan fazla endüstriyel paydaşın yarattığı sinerji ile üç yıllık hazırlık aşamasının ardından hayata geçirildi. Yapı, dijital prefabrikasyonun sınırlarını görmek ve geleceği tasarlamak, ayrıca da misafir araştırmacılara geçici yaşam birimi sağlamak için kullanılıyor.



**Z. Canan Girgin** ■ Zürich Dübendorf'da, araştırma kurumları Empa ve Eawag'ın<sup>1</sup> yenilikçi araştırma ve uygulamalarını gerçekleştirmek üzere; modüler birimlerin yer alacağı, omurga etrafında şekillenmiş, brüt betondan geniş konsollu NEST<sup>2</sup> laboratuvar binası 2016'da tamamlandı. 2.500 m<sup>2</sup> alanda, konsollar üzerine 12-16 adet Ar-Ge birimi planlanmıştı, tepe kotunda yer alacak toplam 220 m<sup>2</sup>'lik üç katlı DFAB HOUSE<sup>3</sup> da bu birimlerden

biriydi ve 2019'un ilk aylarında tamamlanarak kullanıma açıldı. Mimari konsept projesi Matthias Kohler ve Konrad Graser tarafından geliştirilmiş, ETH Zürich'den araştırmacılar ve 40'dan fazla endüstriyel paydaşın yarattığı sinerji ile üç senelik hazırlık aşamasını takiben hayata geçirilmiştir.

Yapım amacı, dijital prefabrikasyonun sınırlarını görmek ve geleceği tasarlamak,



3

1 NEST binası üzerinde inşa edilen DFAB HOUSE, Zürih, İsviçre, 2019 (Fotoğraf: Roman Keller; ©NCCR Digital Fabrication).

2 DFAB HOUSE, Zürih, İsviçre, 2019 (Fotoğraf: Roman Keller; ©NCCR Digital Fabrication).

3 İki katlı üçboyutlu ahşap çerçeve, dalga formlu duvar ve parametrik döşeme sistemini gösteren aksonometrik çizim (©Konrad Graser, NCCR Digital Fabrication, ETH Zürih, 2018).

4 Ahşap çerçevenin imalat aşamasından görünüm; iki robot yardımıyla vidalı birleşim yapılması, robot ve insanın uyumlu çalışması (Fotoğraf: Roman Keller; ©NCCR Digital Fabrication).

ayrıca misafir araştırmacılara da geçici yaşam birimi sağlamaktı. Beton ve çeliğin parametrik tasarım ile bütünleştiği giriş kat mekanları sirkülasyon, oturma ve mutfak birimlerine ayrılırken, üstteki iki katın ise ahşabın sıcaklığı içinde barınma ortamı sunması hedeflenmiştir. Tasarım ve yapım aşamalarında mimari tasarım, strüktür, yangın, akustik ve sürdürülebilirlik konularındaki gereksinimler dikkate alınmış ve robotik teknolojinin yetenekleri 1:1 ölçekte test edilmiştir. Karbon ayak izinin azaltılması ve kaynakların etkin kullanımı bağlamında, yapım teknolojileri

ve enerji yönetimi alanlarındaki yenilikleri ile dikkat çeken DFAB HOUSE, burada yapım teknolojileri odağında ele alınacaktır.

NEST'deki yapısal araştırmalara yönelik modüller için, Pier Luigi Nervi (1891-1979) ve onunla özdeşleşen "formdan gelen güç" kavramı esin kaynaklarından ilkidir. Nervi'nin günümüz teknolojisi ile bile yaratıcı tasarımlarında ana fikir; formun uygun seçimi ve mimari-strüktür bütünleşik çözümü ile yapı ağırlığını azaltmak, malzeme, zaman, işçilik ve

maliyetten tasarruf etmekte<sup>4</sup>. NEST'deki tasarımların diğer bir esin kaynağı ise, zamanda geriye giderek, Gotik dönem katedrallerinin sivri kemer, kaburgalı tonoz ve uçan payandalar ile simgeleşen yapım sistemine dayanır. Sık ve estetik biçimde kaburgalar ile bölünen tonoz, sivri kemer ve uçan payandaların basınca çalışan form gücü; narin ayaklar üzerinde yükselerek ışığı cömertçe içeri alan katedral yapımına imkan sağlamıştır. 2017 yılında NEST'de; kaburgalı tonoz, yelpaze tonoz ya da gül pencere gibi heykelsimsi öğelerden ilham alarak dijital



5 İki katlı ahşap çerçeve sistemin tamamlanmış görünümü (Fotoğraf: Roman Keller; ©NCCR Digital Fabrication).

6 Üçboyutlu duvar ve parametrik döşeme sisteminin 1:10 ölçekli nihai modeli [©Xijie Ma, Digital Building Technologies (DBT), ETH Zürich, 2017].

7 Kalıp olarak da kullanılan hasır içine beton dökümü (©NCCR Digital Fabrication).

8 Cepheye bakan tarafta sirkülasyon mekanı (Fotoğraf: Roman Keller; ©NCCR Digital Fabrication).

9 Bir öngermeli döşeme parçasına beton dökümü için hazırlanmış kalıp, 3D baskı kalıp parçalarının (bkz.: Resim 13) birleştirilmiş görünümü (Fotoğraf: Andrei Jipa; ©Digital Building Technologies (DBT), ETH Zürich, 2018).

10 Kalıp üzerine lifli püskürtme beton uygulaması (Fotoğraf: Andrei Jipa; ©Digital Building Technologies (DBT), ETH Zürich).



teknoloji ile laboratuvarında üretilen döşeme prototiplerini<sup>5</sup> görmekteyiz. Söz konusu formlar iki yıl sonra DFAB HOUSE'da parametrik döşeme formuna evrilmiştir.

Yapım aşamasında üç temel imalat sözkonusuydu; giriş katındaki dalga formunda perde duvar, parametrik formda döşeme ve iki katlı üçboyutlu ahşap çerçeve (Resim 3). Geliştirilen kapsamlı yazılımlar ile otonom robotlar, S formundaki perde için yerinde çelik hasır imalatı ve ahşap elemanların üçboyutlu çerçeve formunda biraraya getirilmesi işlemlerini gerçekleştirmişti.

Ahşap çerçevenin üçboyutlu formunun ortaya çıkabilmesi için; geometri, mimari, strüktür stabilitesi ve imalat sınırlamaları üst başlığı altında; montaj sıralaması ve her aşamasında stabilitenin korunması, robot kolunun erişim mesafesi gibi kısıt faktörleri dikkate alınarak Phyton dilinde geliştirilen yazılım ile atölye ortamında toplam 487 ahşap elemandan altı ahşap modül üretilmiştir; en büyüğü 3,6 m (genişlik) x 8,1 m (boy) x 2,8 m (yükseklik) boyutlarındadır. Süreç; robotun üç eksenli CNC'de ahşap keresteyi uygun boyda, istenen açı ile kesmesi ve çerçeveye yerleştirmesi aşamalarını içerir. İki adet altı eksenli robot kolunun, dar alanda ve gerektiğinde insan ile etkileşimli çalışması sağlanmıştır; nitekim vidalı birleşimler robot desteği alarak insan işgücü ile yapılmıştır (Resim 4). Üretilen modüller karayolu ile NEST'e taşınmış, şantiyede montajı yapılmıştır. Üçboyutlu ahşap



çerçeve sistemin dış cephesi, profiller arasına, hava basıncı ile yerleşen aerojel<sup>6</sup> dolgulu iki katmanlı ETFE'den oluşur. Toplam 8-12 cm kalınlığındaki yarı saydam cephe, gündüz ortamın aydınlık olmasına izin verirken gece dışarı sıcak renklerde ışık verir (Resim 2,5).

DFAB HOUSE'da dijital yapım teknolojileri ile geleceğe yönelik arayışlar test ediliyor aslında. İki boyutta S formunda ve yalın görünümü ile biçimlenen betonarme perde, bölgesel gerilme yığılmaları oluşturmayacak şekilde, yer yer yüzey hareketleri ile üçüncü boyuta kalkıyor (Resim 6). Toplam 12 m uzunluk ve 3 m yüksekliğindeki perde duvar

86 t yük taşıyacak şekilde tasarlanmış, düşey sabit ve hareketli yükler ile cephe strüktüründen aktarılan yanal rüzgar yükü dikkate alınmış. Robotik teknoloji ile çift taraflı hasır imalatı, hasırın aynı zamanda kalıp olarak kullanımı (*mesh mould wall*) ile sağlanan zaman/maliyet tasarrufu ve üçüncü boyutta farklılık yaratma fikri yenilikçi yönleridir. Üretim aşamasında, düşey donatıların yerleştirilmesi ardından robot, donatıyı gerektiğinde hafifçe eğerek istenen pozisyona getirdikten sonra, yatay donatıları kaynakla birleştirmiştir<sup>7</sup>. Çift taraflı hasır tamamlandığında içine C25/30 betonu dökülürken<sup>8</sup> (Resim 7), harcın dışarı kaçması engellenmiş, dışta kalıp kullanmadan döküm işlemi



11

12



bu şekilde devam etmiştir. Bu süreçte; betonun kıvamı, hasır gözü boyutu ve düşey pozisyonda döküm, üretimin başarısı için en önemli parametrelerdir. Robotik tekniğin kullanıldığı; üçboyutlu betonarme duvar imalatının tek boyutlu duvara kıyasla süre ve maliyet açısından çok yakın olduğu izlenmiştir, ayrıca klasik yöntem ile üretimin üçte biri maliyetle gerçekleştirilebileceği öngörülmektedir.

Topolojik optimizasyon programlarının parametrik döşeme tasarımına yansımaları son yıllarda etkileyici bir çalışma alanı; kaynakların etkin kullanımı, daha az çimento ile karbon ayak izinin azaltılması da ayrı öneme sahip. Giriş katında 7x11 m'lik alanda önüretimli öngermeli elemanlardan oluşan döşeme sisteminin (*smart slab*) cepheye bakan tarafı sirkülasyon mekanı (Resim 8), iç tarafa bakan kısmı ise

yaşam alanı olarak düzenlenmiş (Resim 15). 3 m yüksekliğindeki döşeme, dalga formundaki betonarme duvardan destek olarak geriye 3 m devam ederken cepheye doğru da 4,5 m ilerleyerek cam cephenin sadece aksenal yük alabilen önüretimli brüt beton strüktürel elemanlarına<sup>9</sup> birleşiyor (Resim 14). Hacim-yükseklik ilişkisi, çevresindeki duvar ve cephenin yalın düzeni, ayrıca aydınlatma biçimi de döşemeyi öne çıkartıyor. 7,1 m boyunda 11 adet öngermeli parçanın ardgerme ile eklenmiş düzeni içinde tepe ve vadilerin ritmik dizilimi göze çarpıyor. Yüklerden oluşan gerilmelere<sup>10</sup> uygun biçimde yükselip alçalan form malzeme tasarrufu sağlarken, eğrisel form içinde doğallaşan nervürler (*kiriş, rib*) görselliği arttırıyor. Kah Ortaçağ katedralini çağrıştıran kah az sonra "Alien" çıkacakmış hissi veren parametrik form, hayranlık hissini yanısıra hafifçe

11 Öngermeli döşeme parçalarının 2,5 tonluk son ve en büyük parçasının sahada montaj aşaması [Fotoğraf: Andrei Jipa; ©Digital Building Technologies (DBT), ETH Zürich].

12 Döşemeli son döşeme parçası yerine yerleştiriliyor, nervürlere kısa ve uzun doğrultuda ardgerme uygulanacak [Fotoğraf: Tom

Mundy; ©Digital Building Technologies (DBT), ETH Zürich].

13 Döşeme için üçboyutlu yazıcı ile üretilen kalıp parçaları [Andrei Jipa; ©Digital Building Technologies (DBT), ETH Zürich, 2018].

14 Beton dikmelerin üretimi (Fotoğraf: Roman Keller; ©NCCR Digital Fabrication).

15 İç tarafa bakan kısımda yaşam alanından görünüm (Fotoğraf: Roman Keller; ©NCCR Digital Fabrication).

de ürpertiyor aslında. Kalıp üretiminin formun karmaşıklığından bağımsız olması önemli bir avantaj<sup>11</sup>. Döşemenin nervürler hariç tüm alanı lifli püskürtme beton kaplanmış (Resim 9,10) ve sadece 2 cm kalınlığında, klasik betonarme döşemeye kıyasla ~%70 daha hafif. 30-60 cm derinliğindeki nervür boşlukları aynı zamanda elektrik tesisatı ve sprinklerin gizlenmesi için de elverişli alanlar yaratıyor. Toplam 78 m<sup>2</sup>'lik döşeme önüretimli elemanlardan oluştuğu için düşük vinç kapasiteleri yeterlidir, montajı dört günde tamamlanmıştır<sup>12</sup> (Resim 8,11,12).

Önümüzdeki yıllarda endüstriyel robotların fiilen yapıma daha çok katıldığını göreceğiz. Böylece geleneksel yapım teknolojilerindeki ~%25 düzeyinde atık da ortadan kalkıyor, bu bağlamda da malzeme tasarrufu sağlanıyor. Şantiyede insan gücü ile montaj, şimdilik dijital üretim teknolojisini kesintiye uğratsa da gelecekte dijital teknolojilerin yapı üretimine daha fazla entegre olması kaçınılmaz. Bu yapı da bize insan ve robot işgücünün uyum içinde üretim yapabileceğini gösteriyor.

DFAB HOUSE; farklı malzemeler, robotik teknoloji ve sanatın formda buluştuğu, aynı zamanda önemli oranda zaman ve malzeme tasarrufu sağlanmış bir konut yapısı. Bu bağlamda, sıkça görmeye başladığımız üçboyutlu yazıcı ile üretilmiş beton konut yapılarından çok farklı ve alanında bir ilk.

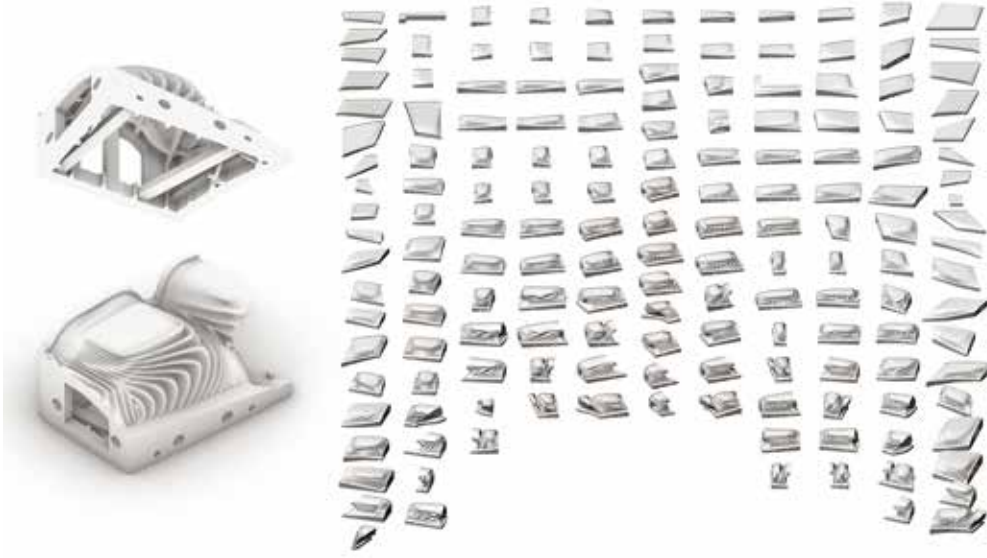
■ Z. Canan Girgin, Prof.Dr., Yıldız Teknik Üniversitesi, Mimarlık Bölümü.

#### Notlar:

1 Empa: Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology, Eawag: The Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology.

2 NEST: Next Evolution in Sustainable Building Technologies.

3 DFAB: Digital Fabrication.



13

14

**4** İtalya'da 1930'lu yılların zor ekonomik koşullarında; Nervi, üstlendiği uçak hangarı projelerinde strüktür çözümünü, beton ve çeliği sıradışı formda şekillendirmekte buldu; klasik betonarme anlayışından farklı olarak, ayrılmaz ikiliyi jeodezik tonozda biraraya getirdi (Bu form günümüzde çelik ve ahşap malzemeler ile uygulanmaktadır). Jeodezik formun ızgara düzeni yapıyı hafifletirken, yüksek düzeyde hiperstatikliği gerilmeleri büyük ölçüde yayar ve yapı daha da hafifler. Diğer bir yenilik olarak da, önüretimli donatılı beton elemanların gövdesini boşaltmıştır (Virendeel giriş), şantiyede biraraya getirilen elemanlarda karşılıklı donatılar kaynak ile birleştirilmiştir. Büyük ölçüde hafifletilmiş çözüm, tonozu taşıyacak payanda adedini önemli oranda azaltmıştır. Nervi, yaratıcı çözümlerine Palazzetto dello Sport (1958) gibi geniş açıklıklı yapılarda devam etmiştir. Formun gücünü örneğin Candela'nın betonarme ince hipar kabuklarında da görmekteyiz: Ekim 2021'de açılan NEST HiLo biriminde hipar kabuk, dijital teknolojiler ve betonun yenilikçi kullanımı ile yeniden hayat bulmuştur.

**5** Nervürler (kaburga) ve sadece 2 cm kalınlığındaki döşeme kısmı çelik donatısız olarak sadece lif kullanılarak üretilebilmiştir, geniş açıklıklar için ise öngerme/ardgerme teknolojilerinden yararlanılması doğaldır.

**6** Isıl iletkenliği çok düşüktür, 0.018 W/m.K (0.010 BTU/h.ft.<sup>2</sup>F).

**7** 6 mm çaplı düşey donatılar döşemeye ankre donatı yuvalarına yerleştirildikten sonra; robot, 3 m yükseklik boyunca, 4x4 cm boyutlu gözler oluşacak şekilde (tüm duvar için 22.300 noktada), iki boyuna donatıda bir, punta (nokta) kaynağı ile 4,5 mm çaplı standart enine donatılarını sözkonusu iki donatıya birleştirir, süresiz donatı yerleşimi tüm duvar boyunca devam eder. 12 cm aralıklı iki çelik hasır ve arasındaki çapraz yönde çirozlar ile perde donatıları tamamlanmıştır. Düşey donatılar ve çirozların yerleşimi elle yapılmıştır (en uygun donatı yerleşimi eğilme deneyleri ile belirlenmiştir). Zürih'te sismik aktivitenin çok düşük olması nedeniyle yanal yük rüzgar ile sınırlı olup bu tip perde için uygundur, ancak aktivite yüksek ise enine donatılarının sürekliliği ve standart başlık bölgesi bulunması gerekecektir; bu zorunluluk robotik teknolojinin geleceği açısından dikkate alınmalıdır. Diğer taraftan robotik uygulamanın süresi, imalatın toplam süresinin %66'sı düzeyindedir.

**8** 8 cm uzunluğunda polipropilen lifler, atık tuğlalardan üretilen maks. 4 cm'lik agregalar kullanılmıştır. Klasik kendiğinden yerleşen akışkan betondan farklı olarak, döküldüğünde hasırın gözlerini aşmaması için kıvamı daha plastik ve yayılması düşüktür. Beton dökümü sonrası, yangın dayanımı için de yüzeye ilave 2 cm püskürtme beton ve sonrasında perdah uygulanmıştır.

**9** Geleneksel donatılı betondan toplam 15 eleman üretilmiştir. Düşey pozisyonda, robotik yöntem



15

kullanılarak, kayar kalıp tekniği ile her bir elemanın üretimi 4 saat sürmüştür.

**10** Sonlu eleman programları kullanılarak, gerilme yoğunlukları oluşmayacak şekilde parametrik döşeme formu optimize edilmiştir.

**11** Kalıbı üretmek için üçboyutlu kum yazıcı tekniği kullanılmıştır; formun karmaşıklığından bağımsız olması en önemli avantajıdır, kalıp üretim süreci ve maliyeti önemli ölçüde azalır. Ancak kalıbın parça parça üretilmesi, çok sayıda parçanın (181 adet) biraraya getirilmesi açısından (Resim 13), uygulamada sanayi tipi üçboyutlu kum yazıcıların kullanılmaya başlanması ve parça boyutlarının artırılması bu işleme hız katacaktır.

**12** Nervürlerin donatı yerleştirilen ana kısmı yerinde döküm, diğer tüm alan lifli püskürtme beton ve aderansın oluşması açısından eşzamanlı olarak uygulanmıştır. Döşemenin sahadaki montaj aşamasında, nervürlerin içerisindeki boşluklardan geçirilen boyuna ve enine yöndeki ardgerme kabloları ile öngermeli elemanlar biraraya getirilerek döşeme sistemi tamamlanmıştır. 7 m'lik enine doğrultu, derinliği 60 cm'den 30 cm'e doğru azalan ana nervürlerin içinde 11 ardgerme kablosu ile geçilir. 11,7 m'lik boyuna doğrultu ise, 30 cm derinliğindeki tali nervürlerin içinden altı ardgerme kablosu ile geçilmektedir (Resim 12).

Konum: **Dübendorf, Zürih, İsviçre**

Yapım Tarihi: **2019**

İşveren: **Empa**

Mimarlar: **NCCR Digital Fabrication**  
Konsept Tasarım: **Matthias Kohler, Konrad Graser**  
Mimari Proje Ekibi: **Konrad Graser (yürütücü), Marco Baur, Sarah Schneider (tasarım ve proje yönetimi); Arash Adel, Aleksandra Anna Apolinarska, Benjamin Dillenburger, Kathrin Dörfler, Rena Giesecke, Fabio Gramazio, Norman Hack, Matthias Helmreich, Andrei Jipa, Matthias Kohler, Ena Lloret-Fritschi, Mania Aghaei Meibodi, Fabio Scotto, Demetris Shammias, Andreas Thoma**

Strüktürel Tasarım Ekibi: **Joseph Schwartz (konsept tasarım), Marco Bahr (mühendislik), Jaime Mata Falcón, Walter Kaufmann, Daniel Rönz, Thomas Wehrle**  
Genel Yüklenici: **ERNE AG Holzbau**  
İnşaat Mühendisliği: **Dr. Schwartz Consulting AG**  
Elektrik Mühendisliği: **Elektro Siegrist AG**  
Aydınlatma Tasarımı: **Sommerlatte & Sommerlatte AG**

Proje İşbirliği: **BAKUS Bauphysik und Akustik GmbH (yapı fiziği), Schibli Gebäudetechnik (yapım teknolojileri), Häusler Ingenieure AG (iklimlendirme/ yangın güvenliği)**