

REHBER BATARYA DEPOLAMA · 18 DK. · 23 AĞUSTOS 2026

Batarya enerji depolama sistemlerinde ısıl bölmeleme: Termal kaçağa (thermal runaway) karşı refrakter malzemeler

Batarya enerji depolama sistemlerinin (BESS) planlamacıları ve işletmecileri hücre, modül, raf ve konteyner arasındaki termal yayılımı nasıl sınırlar — refrakter uygulama perspektifinden mevzuat, malzeme seçimi, uygulama, test ve bakım-onarım.

Termal kaçakta neler olur — ve zaman neden belirleyici faktördür

Termal kaçak (thermal runaway) tek bir hücrede başlar: İç kısa devre, mekanik hasar, aşırı şarj veya bir üretim hatası nedeniyle hücre sıcaklığı, elektrolitin ayrışması kendi kendini hızlandıracak kadar yükselir. Saniyeler içinde birkaç yüz santigrat derece, yanıcı gazlar (hidrojen, karbon monoksit, hidrokarbonlar) ve sıcak partikül jeti oluşur. Bu durumdaki hücre artık söndürülemez — reaksiyon, depolanan enerji tükenene kadar devam eder.

Tesis için tehlikeli olan tek bir hücre değil, yayılımdır (propagasyon): İlk hücrenin ısısı komşu hücreleri, oradaki eşik de aşılana kadar ısıtır. Bölmeleme olmadan zincirleme reaksiyon modülü, rafı ve sonunda konteyneri sarar. Aktarımı dakikalarca geciktiren her kademe; batarya yönetim sistemine kapatma, gaz tahliyesine havalandırma ve itfaiyeye olay yerine ulaşma için zaman kazandırır.

Not: Refrakter malzemelerin temel görevi — Söndürmek değil, ayırmak: Kademeler arasındaki bir ısıl bariyer, öbür taraftaki sıcaklığı komşu hücrelerin tutuşma eşiğinin altında, yayılım duracak ya da kontrol edilebilir ölçüde yavaşlayacak kadar uzun süre tutar. Ölçüt, sıcaklığın karşı tarafa geçmesine kadar geçen süredir — yalnızca malzemenin sınıflandırma sıcaklığı değil.

- Hücre seviyesi: hücre yüzeyinde 600 °C'nin üzerinde sıcaklıklar, partikül jetinde 1.000 °C'nin üzerine kadar
- Modül seviyesi: kWh başına birkaç yüz litre gaz salımı, muhafaza içinde basınç artışı
- Raf ve konteyner seviyesi: plastikler, kablolar ve elektronikten kaynaklanan yangın yükü de eklenir
- Zaman penceresi: bariyer olmadan komşu hücreler arasında yayılım tipik olarak dakikalar içinde gerçekleşir; etkili bir bariyerle belirgin biçimde gecikir veya kesilir

Mevzuat: Neler talep ediliyor ve neler kanıtlanmalı

Almanya'da sabit batarya enerji depolama sistemleri için tek ve nihai bir yasa yoktur — gereksinimler ürün standartları, test yöntemleri, sigortacı yönergeleri ve yapı mevzuatından oluşur. Konteynerde malzeme seçimi için belirleyici olan, özellikle yayılım güvenliğinin kanıtlandığı test yöntemleridir.

UL 9540A, termal kaçağın yayılımını hücre, modül, ünite ve kurulum seviyesinde kademeli olarak inceleyen, uluslararası alanda yaygın bir test yöntemidir. Bugün birçok ihale ve sigortacı bir UL 9540A raporu talep etmektedir; raporda belgelenen sıcaklıklar ve süreler, bölmeleme tasarımının girdi değerleridir. NFPA 855 bir kurulum standardı olarak mesafeleri, yangın bölmelerini, söndürme ve havalandırma konseptlerini düzenler. Avrupa'da IEC 62933-5-2, şebekedeki elektrokimyasal depolama sistemlerine yönelik güvenlik gereksinimlerini tanımlar. VdS 3103 yönergesi, Alman mal sigortacılarının lityum iyon depolama sistemlerinden beklentilerini özetler.

Refrakter malzemelerin kendisi için DIN EN 13501-1'e göre sınıflandırmalar (yangın davranışı, yanmaz ürünler için A1 sınıfı) ile DIN EN 1363 ve DIN EN 1364'e göre yangına dayanım testleri geçerlidir. Elyaf malzemelerde iş güvenliği de devreye girer: Alümina silikat yünü (ASW) TRGS 558'e (Almanya'da yüksek sıcaklık yünleriyle çalışmaya ilişkin tehlikeli maddeler teknik kuralı) tabidir, biyoçözünür AES yünü ise tabi değildir — batarya depolama sistemlerinde neredeyse her zaman belirleyici olan bir nokta.

Not: Uygulamadan not — Malzemeler hakkında konuşmadan önce sistem tedarikçisinden modül ve ünite seviyesindeki UL 9540A raporunu isteyin. Orada ölçülen yüzey sıcaklıkları ve olayın süresi, hangi bariyer etkisine ihtiyacınız olduğunu belirler — gerisi kör tasarımdır.

Bölmeleme konsepti: Dört seviye, dört görev

Etkili bir bölmeleme, depolama sisteminin yapısını içeriden dışarıya doğru takip eder. Her seviyenin kendine özgü bir görevi, kendine özgü bir sıcaklık yükü ve dolayısıyla kendine uygun bir malzemesi vardır. Tüm seviyelerde aynı malzemeyi kullanan, ya fazla öder ya da kritik noktada yetersiz koruma sağlar.

- Hücre–hücre: komşu hücreye ısı geçişini geciktiren 1 ila 3 mm'lik ince ara katmanlar — biyoçözünür kalitede seramik elyaf kağıdı veya mikro gözenekli folyo laminatları; belirleyici olan, yüksek sıcaklıkta düşük kalınlık ve düşük ısıl iletkenliktir
- Modül–modül: raf içinde modüller arasında 5 ila 25 mm'lik levhalar — yerin dar olduğu yerlerde milimetre başına en yüksek izolasyon etkisine sahip mikro gözenekli levhalar; ek olarak basma dayanımı gereken yerlerde kalsiyum silikat levhalar
- Raf–raf ve raf–duvar: yangına dayanımlı ayırma duvarları ve kaplamalar — katmanlar halinde, derzleri şaşırtmalı kalsiyum silikat veya elyaf levhalar, bağlantılar elyaf iple sızdırmaz hale getirilmiş
- Konteyner iç astarı: çelik gövdeyi kritik sıcaklığın altında tutan ve yangının komşu konteynerlere sıçramasını önleyen, biyoçözünür elyaf battaniye veya levhadan duvar ve tavan kaplaması

Buna geçişler de eklenir: Kablolar, soğutma hatları, baralar (busbar) ve havalandırma açıklıkları her seviyeyi deler. Bir ayırma duvarı ancak en zayıf geçişi kadar iyidir — burada elyaf ipler, kağıt contalar ve yangın manşonları aksesuar değil, konseptin parçası haline gelir.

Malzeme seçimi: Biyoçözünür, mikro gözenekli, elyafsız — ve ASW'nin depolama sistemlerinde neden nadiren doğru cevap olduğu

Endüstriyel fırında malzemeyi sıcaklık belirler. Batarya depolama sisteminde ise seçimi daha güçlü şekillendiren üç gereksinim daha eklenir: yerleşim alanı, iş güvenliği ve müşterinin malzeme listesi.

Biyoçözünür AES yünü (SOLUT BW Blanket, BW Board, BW Paper), CLP Tüzüğü'nün (AB Sınıflandırma, Etiketleme ve Ambalajlama Tüzüğü) Not Q'su uyarınca kanserojen sınıflandırmasından muaftır ve TRGS 558 kapsamına girmez. Depolama sistemi üreticileri için bu şu anlama gelir: uygulama sırasında maruziyet kategorisi

yok, üründe etiketleme zorunluluğu yok, REACH Madde 33 uyarınca SVHC bildirimi yok. 1.200 °C sınıflandırma sıcaklığıyla, termal kaçak sırasında duvar ve tavanda oluşan sıcaklıkları karşılar. Sürekli kullanım sıcaklığının sınıflandırma sıcaklığının altında olması burada rol oynamaz — yük durumu sürekli işletme değil, dakikalarca süren bir olaydır.

Mikro gözenekli levhalar (SOLUT MP Board), tüm izolasyon malzemeleri arasında en düşük ısıl iletkenliği sunar — 200 ila 400 °C'de yaklaşık 0,02 ila 0,03 W/mK — ve dolayısıyla milimetre başına en büyük bariyer etkisini sağlar. Her milimetre yerleşim alanının enerji yoğunluğundan götürdüğü modüller arasında tercih edilen malzemedir. Elyafsız, yanmazdır (A1) ve taşıma sırasında toz çıkarmamaları için alüminyum folyo, cam elyaf dokuma veya PE folyo kaplamalı olarak tedarik edilebilir.

Kalsiyum silikat levhalar (SOLUT CAL Board), bariyerin yük taşıması gereken yerlerde kullanılır: rafların altında, bağlantı elemanlı ayırma duvarı olarak, bileşenler için altlık olarak. 1.000 °C sınıflandırma sıcaklığında 13 ila 27 N/mm² basma dayanımı; elyafsızdır ve ahşap işleme aletleriyle işlenebilir.

Not: Neden ASW değil? — Alümina silikat yünü 1.260 ila 1.430 °C'ye dayansa da Kategori 1B kanserojen olarak sınıflandırılmıştır. Üreticilerin birçok ülkeye tedarik ettiği ve servis teknisyenlerinin açtığı bir üründe bu durum, neredeyse hiçbir depolama sistemi üreticisinin üstlenmek istemediği etiketleme, bilgilendirme ve iş güvenliği yükümlülüklerini beraberinde getirir. ASW'nin sıcaklık rezervine depolama sisteminde ihtiyaç duyulmaz — biyoçözünür alternatif yük durumu için yeterlidir.

- Hücre ara katmanları: SOLUT BW Paper 1–3 mm veya mikro gözenekli laminat
- Modül ayırma: SOLUT MP Board 5–25 mm, kaplamalı
- Taşıyıcı ayırma duvarları ve altlıklar: SOLUT CAL Board 12,7–50 mm
- Konteyner duvar ve tavan kaplaması: SOLUT BW Blanket 25–50 mm veya BW Board
- Geçişler ve derzler: elyaf ip ve BW Paper; yangın bölmelerinde onaylı bölmeleme sistemleriyle birlikte

Malzeme karşılaştırması: Dört bariyer malzemesine genel bakış

Aşağıdaki tablo dört önemli bariyer malzemesini karşılaştırır — depolama sisteminde gerçekten belirleyici olan değerlerle: olay anında ısıl iletkenlik, yerleşim alanı ihtiyacı, mekanik dayanım ve mevzuat durumu.

Not: Pratik kural — Yerleşim alanının en kısıtlı olduğu yerde: mikro gözenekli. Yük taşınan veya vidalanan yerde: kalsiyum silikat. Yüzeylerin kaplandığı yerde: biyoçözünür elyaf. İnce olması gereken yerde: elyaf kağıdı. ASW yalnızca sürekli olarak AES aralığının (yaklaşık 1.200 °C) üzerinde izolasyon yapılıyorsa — depolama sisteminde pratikte hiçbir zaman.

Uygulama ve test: Bariyer pratikte nerede başarısız olur

Bariyerde boşluklar varsa en iyi malzeme seçimi de işe yaramaz. Uygulamalarımızdan tekrarlayan dört zayıf nokta biliyoruz: levhalar arasında açık alın derzleri, sızdırmazlığı sağlanmamış geçişler, izolasyonun içinden ısı köprüsü olarak geçen çelik bağlantı elemanları ve montaj sırasında ezilerek kalınlığını ve izolasyon etkisini kaybeden izolasyon katmanları.

- Levha birleşimlerini iki katmanda şaşırtmalı yapın veya lamba-zıvana (geçmeli) olarak uygulayın; tek katmanlı alın derzlerinin arkasına elyaf ip yerleştirin
- Her geçişi ayrı bir detay olarak çizin: ip, kağıt veya manşon; sızdırmazlık uzunluğu en az levha kalınlığı kadar
- Bağlantı elemanlarını ısıl olarak ayırın — boydan boya çelik vidalar yerine altlıklı seramik veya paslanmaz çelik ankrajlar
- İzolasyon kalınlığını teslimat durumunda değil, uygulanmış durumda kontrol edin; sıkıştırma ve kompresyonu belgeleyin
- Olaya bakan taraftaki kaplamaları ve folyoları değerlendirin: Taşıma sırasında korurlar, ancak yangın anında bir işlev görmezler

Kanıtlama iki aşamada yapılır: Malzeme değerleri teknik bilgi formlarından ve yangın sınıflandırmalarından, sistemin bariyer etkisi ise modül veya ünite seviyesinde bir yayılım testinden elde edilir — sonuçların sigortacılar ve izin makamları için de kullanılabilmesi amacıyla tercihen UL 9540A'ya göre. Test edilen sistemin daha sonra uygulanacak olanla aynı olması için malzeme verilerini sağlıyor ve test numunesi üretimine eşlik ediyoruz.

Planlama kontrol listesi: İhale ve tekliften önce netleştirilmesi gerekenler

Depolama projelerindeki gecikmelerin çoğu uygulama sırasında değil, öncesinde ortaya çıkar — çünkü teklifler karşılaştırılacağı zaman temel bilgiler eksiktir. İlk teklif talebi gönderilmeden önce şu on iki nokta netleştirilmelidir:

- Hücre/modül tedarikçisinin modül ve ünite seviyesindeki UL 9540A raporları mevcut mu? Hangi sıcaklıklar ve süreler ölçüldü?
- Koruma hedefi tanımlandı mı: Hücre–hücre yayılımını önlemek, modül–modül yayılımını geciktirmek mi yoksa yalnızca konteyner–konteyner ayrımı mı?
- Her seviye için yerleşim alanı bütçesi belirlendi mi (hücreler, modüller, raflar arası mm)?
- Sigortacının gereksinimleri alındı mı (VdS 3103, gerekirse ek şartlar)?
- Malzemelerin yangın davranışı DIN EN 13501-1'e göre A1 sınıfı olarak talep ediliyor mu?
- Elyafsız malzeme listesi mi talep ediliyor — yoksa biyoçözünür elyaf (Not Q) kabul edilebilir mi?
- Geçişler sayıldı ve her tip için bir sızdırmazlık detayı tanımlandı mı (kablo, soğutma hattı, bara, havalandırma)?
- Boydan boya ısı köprüsü içermeyen bir bağlantı konsepti planlandı mı?
- Montajda izolasyon katmanlarının kompresyonu hesaplandı mı — uygulanmış durumdaki kalınlık nedir?
- Yayılım testi için test numunesi planlandı mı (malzeme, tarih, test kuruluşu)?
- Seri üretim: Kit olarak mı yoksa tek parça olarak mı kesim? Toleranslar tanımlandı mı?
- Söküm ve yedek parça konsepti: Bakım müdahalesinden sonra bir bariyer nasıl eski haline getirilir?

Not: Planlamacılara teklifimiz — Bize UL 9540A verilerini ve yerleşim alanı bütçesini gönderin — her seviye için katman yapısını önerelim, güvenlik kanıtı için malzeme değerlerini sağlayalım ve talep halinde test numuneleri ile seri kitler üretelim.

İşletme, bakım-onarım ve söküm

Bir ısıl bariyer normal işletmede çalışmaz — bekler. Tam da bu nedenle bakım ve tadilat sırasında kolayca hasar görür: Erişim için levhalar sökülür ve eksik şekilde geri takılır, kablo değişiminde geçişlerdeki contalar kaybolur, sonradan eklenen bileşenler izolasyon katmanlarını ezer. Bu nedenle bakım-onarım dokümanlarında her bariyeri, her geçişi ve her contayı gösteren bir bölmeleme planı bulunmalıdır.

- Her müdahaleden sonra: ilgili bariyerin bölmeleme planına göre gözle kontrolü, fotoğrafın dosyaya eklenmesi
- Yılda bir: geçiş contalarının ve izolasyon katmanlarının kompresyonunun örneklemeyle kontrolü
- Bir termal olaydan sonra: etkilenen bariyerlerin tamamen yenilenmesi — biyoçözünür yün ve mikro gözenekli levhalar da sıcaklık geçişinden sonra özelliklerini kaybeder
- Söküm sırasında: malzemelerin etiketlerine göre ayrıştırılması — biyoçözünür ve elyafsız malzemeler tehlikeli atık değildir, eski ASW malzemesi 170603* atık koduna girer

Not: Tek elden — Malzemeleri on üç dilde teknik bilgi formlarıyla tedarik ediyor, levhaları ve battaniyeleri çizime göre kesiyor, kendi montaj ustalarımızla uyguluyor ve tadilat veya hizmetten çıkarma durumunda bertaraf belgesiyle birlikte sökümü üstleniyoruz. Seri depolama sistemi üreten firmalar için bölmeleme kitlerini önceden hazırlıyoruz.

Standartlar ve mevzuat

UL 9540A
Termal kaçak yayılımının hücre, modül, ünite ve kurulum seviyesinde değerlendirilmesine yönelik test yöntemi (Bariyer tasarımı için sıcaklıkları ve süreleri sağlar; sigortacılar ve ihaleler tarafından giderek daha sık talep edilmektedir)

NFPA 855
Sabit enerji depolama sistemleri için kurulum standardı — mesafeler, yangın bölmeleri, söndürme ve havalandırma konseptleri (Üniteler arasındaki ayırma duvarlarının ve mesafelerin düzenlenmesi için çerçeve)

IEC 62933-5-2
Şebekeye bağlı elektrokimyasal enerji depolama sistemlerine yönelik güvenlik gereksinimleri (Tüm sistemin güvenlik kanıtları için Avrupa temeli)

VdS 3103
Alman mal sigortacılarının lityum iyon bataryalar ve depolama sistemlerine ilişkin yönergesi (Sigortacıların kurulum, bölmeleme ve yangından korunma konusundaki beklentileri)

DIN EN 13501-1
Yapı ürünlerinin yangın davranışının sınıflandırılması (A1 sınıfı: yanmaz) (Kullanılan izolasyon ve ayırma malzemelerinin yanmazlığının kanıtı)

DIN EN 1363-1 / EN 1364
Genel ve yük taşımayan yapı elemanları için yangına dayanım testleri (Ayırma duvarlarının ve kaplamaların yangına dayanımının kanıtı)

TRGS 558
Yüksek sıcaklık yünüyle yapılan çalışmalar — maruziyet kategorileri ve koruyucu önlemler (ASW için geçerlidir, biyoçözünür AES yünü için değil; malzeme seçiminde belirleyicidir)

CLP Tüzüğü, Not Q
Biyoçözünür mineral yünlerin kanserojen sınıflandırmasından muafiyeti (Depolama sisteminde etiketleme gerektirmeyen elyaf malzemelerin temeli)

Sık sorulan sorular

Termal kaçakta 1.000 °C'nin üzerinde sıcaklıklar oluşuyorsa 1.200 °C'lik biyoçözünür yün yeterli midir?

Yük durumu için evet: Sınıflandırma sıcaklığı, 24 saatlik sürekli yük sonrasındaki çekmeyi tanımlar. Termal kaçak, bariyerin ısıya kalıcı olarak dayanması değil, ısıyı geciktirmesi gereken, dakikalarca süren bir olaydır. Belirleyici olan kalınlık ve ısıl iletkenliktir — ve test edilmiş sistem üzerindeki kanıt.

Neden basitçe daha kalın elyaf battaniye değil de mikro gözenekli malzeme?

Çünkü depolama sisteminde yerleşim alanı enerji yoğunluğu demektir. Mikro gözenekli bir levha, elyaf battaniyenin iki ila üç katı kalınlıkla sağladığını 10 mm ile sağlar. Modüller arasında bu, konteynerde bir raf fazla ya da eksik olması farkıdır.

Malzemelerin kendisinin bir onaya sahip olması gerekir mi?

Malzemelerin sınıflandırmalara ihtiyacı vardır (yangın davranışı A1, teknik bilgi formu değerleri). Onay ise sisteme ilişkindir: Yayılım güvenliği yalnızca malzeme üzerinde değil, modül veya ünite üzerinde test edilir. Bu kanıt için gereken malzeme verilerini biz sağlarız.

Bir olaydan sonra bölmelemeye ne olur?

Etkilenen bariyerler tamamen yenilenir. Sıcaklık geçişine maruz kalmış izolasyon malzemeleri gevrekleşmiş veya sıkışmıştır ve teknik değerlerine artık ulaşamaz — dışarıdan sağlam görünseler bile.

Projenizi bizimle görüşün

İş günlerinde 24 saat içinde geri dönüş.

info@sbs-rs.de

+49 89 541 960 200

Çevrimiçi okuyun: www.sbs-rs.de/batteriespeicher/ratgeber/thermische-abschottung-batteriespeicher