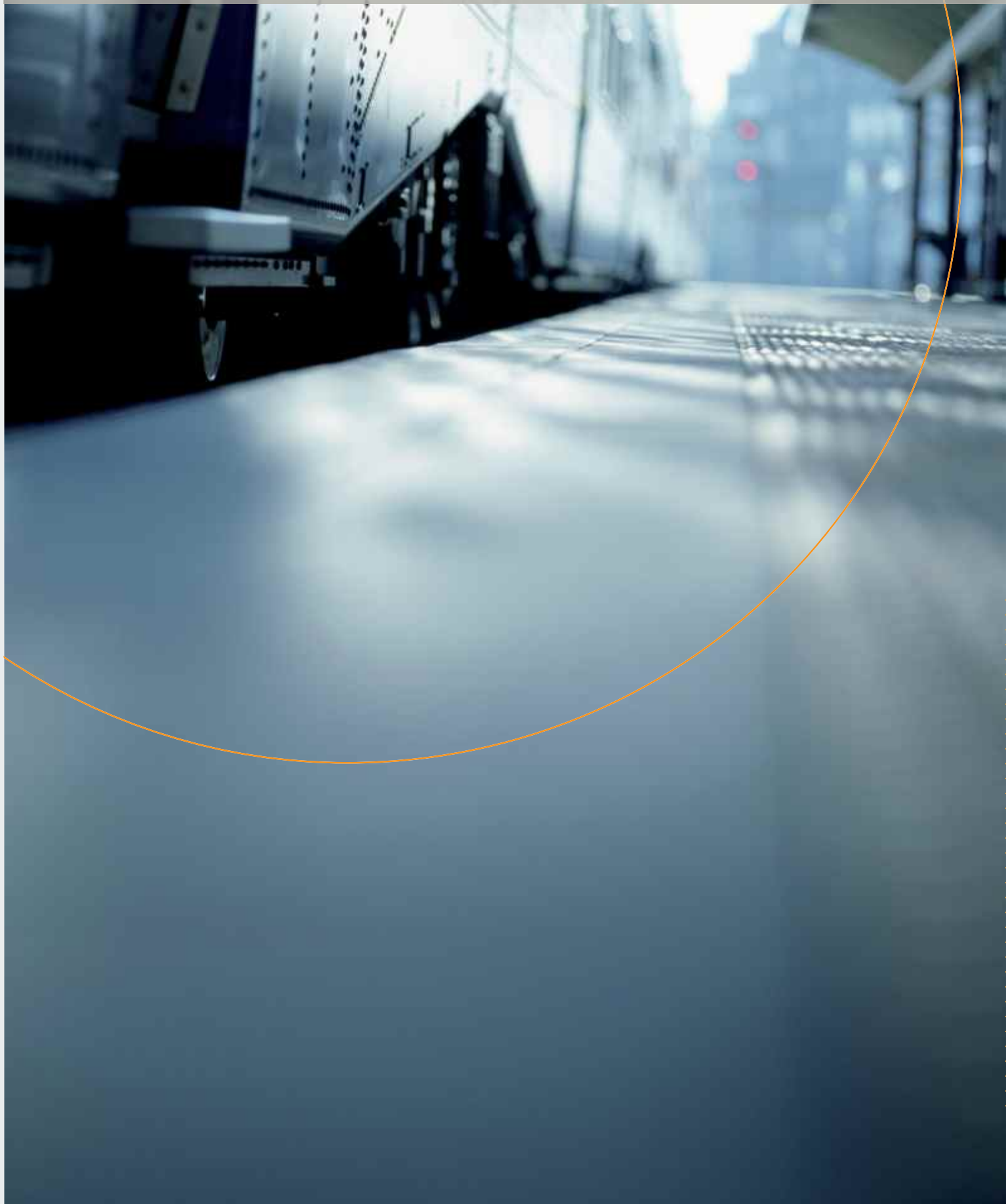


质量弹簧系统



1 | 结构噪声及其影响



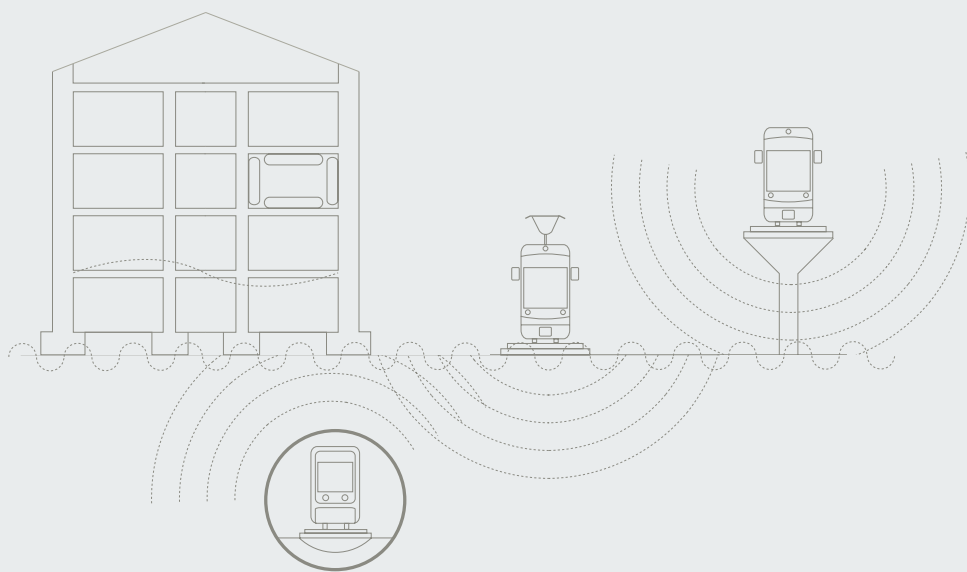


恢复平静

道路交通及铁路列车因其速度快、重量大，将会产生结构噪声。这些噪声波通过地面被传播出去，可能会对建筑物及附近的机械设备或敏感性测量仪器造成一定的振动性影响。

同时，由于建筑物、设备及机器本身就是能产生振动的系统。因此，受结构噪声波影响的建筑物及对象也可能会将列车和汽车产生的噪声刺激放大。换句话说，如果长期暴露在这种环境中，机械振动以及其导致的次生空气噪声将对人体造成很大的危害。

振动还会影响到机器和设备的功能，有时候可能会对其日常运作或其生产质量和生产能力产生有害影响。此外，建筑结构的动态过载可能会对建筑物造成一定的损坏风险，如发生沉降或裂缝。



2 | 高效的结构噪声防护措施

几十年一
直有效防护

我们可根据客户提出的特定要求，在噪声的源头采取各种措施来减少结构噪声的排放量。如果要使结构噪声防护达到最高水平，则应该采用质量弹簧系统这种防护措施。目前，Sylomer® 和 Sylodyn® 材料用作各种弹性支撑装置已

广泛应用在世界范围内，它们的噪声防护效果可以持续数十年。振动防护功效经证实的 Sylomer® 和 Sylodyn® 材料，结合Getzner公司专业的技术方案，如今已被视为质量弹簧系统的标准的高科技解决方案。





Sylomer® 和 Sylodyn® 材料的优势：

- 可靠、均质，而且弹性持久
- 能承受短期过载（超过材料负载极限的荷载）
- 可直接被重型车辆驶过
- 安装简便、快速，施工成本低
- 由于材料在密度、厚度和承载面积上具有多样性，可提供多种形状的隔振产品
- 具有高效性和长期稳定性
- 最低限度的维护费用

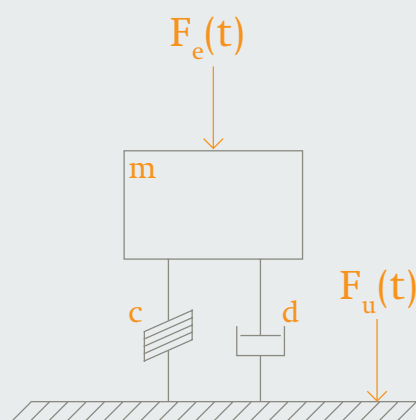
无论您采用何种施工方法 Sylomer® 和 Sylodyn® 都是质量弹簧系统中高弹性支撑结构最理想的原材料。

3 | 质量弹簧系统的功能原理

有效地隔离振动

振动隔离的目标是动态地将轨道上层结构与其周围环境分离开，以减少振动和结构噪声的传递。

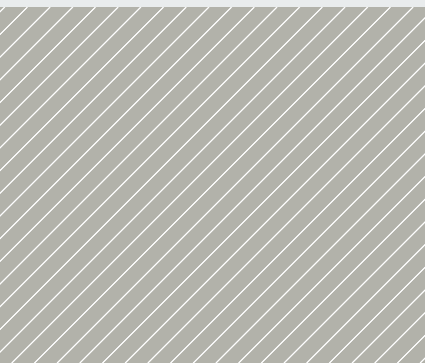
可通过建立一个能够振动的系统来实现轨道上部结构与周围环境的隔离。如果安装了诸如 Sylomer® 和 Sylodyn® 材料的持久弹性弹簧层，就可直接在振动传播的源头实现振动隔离。如图所示，这样就可以确保支撑点的力 $F_u(t)$ 小于激振力 $F_e(t)$ ，进而减小支撑点受力所产生的振动量。



弹性支撑结构的功能原理可以通过单自由度振动系统来简化地描述。其实，很多的振动问题都大致可以通过单自由度振动系统这种简单的物理模型进行解释。如果轨道上层结构体在瞬间激振力 $F_e(t)$ 的作用下发生失衡，结构体将以 f_0 的固有频率自由振动。

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{c}{m}}$$

c = 动态弹簧刚度
 m = 轨道上层结构体质量 + 车轮的非簧载质量



弹性支撑系统振动振幅降低的速度取决于弹簧的阻尼值。对于 Sylomer® 和 Sylodyn® 材料而言，我们用机械损耗系数来描述弹性系统的阻尼值。

为了评价一个质量弹簧系统的隔振效果，首先必须确定振幅频率特性（相当于传递函数）。在振动源隔离设计中，传递函数描述了基于频率 f 或者是基于支撑点受力 $F_0(t)$ 和激励力 $F_e(t)$ 之间频率关系的振幅关联性。

如图所示，振动隔离系统中包含两个区域，具体来说就是振动放大区和振动隔离区。

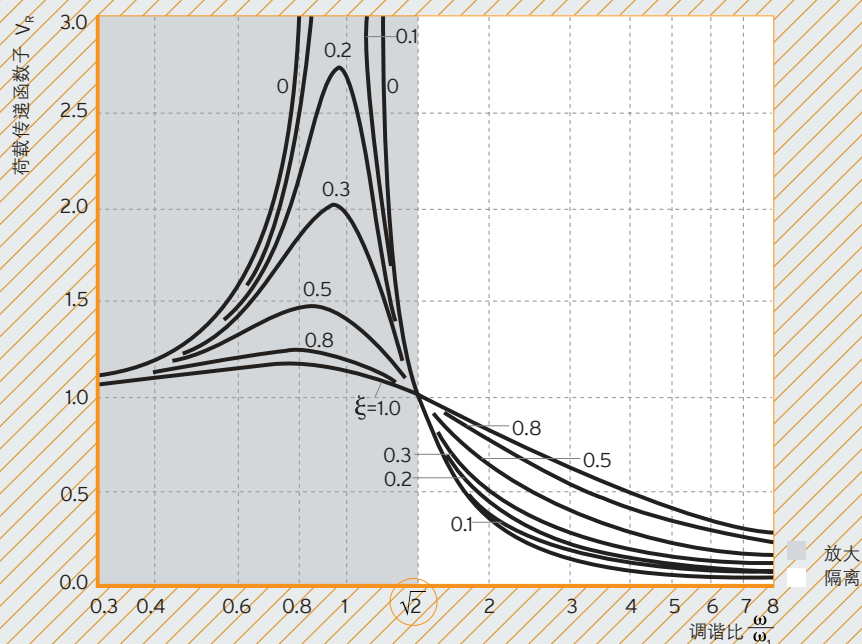
仅当激励器频率与弹性支撑结构的固有频率相同或出现了宽频激励时，才会发生振幅放大现象。

实现振动隔离效果的起始系统频率为。根据振幅频率特性曲线显示，隔振系统的固有频率 $\sqrt{2} \cdot f_0$ 会随着材料阻尼值的增大而减小。

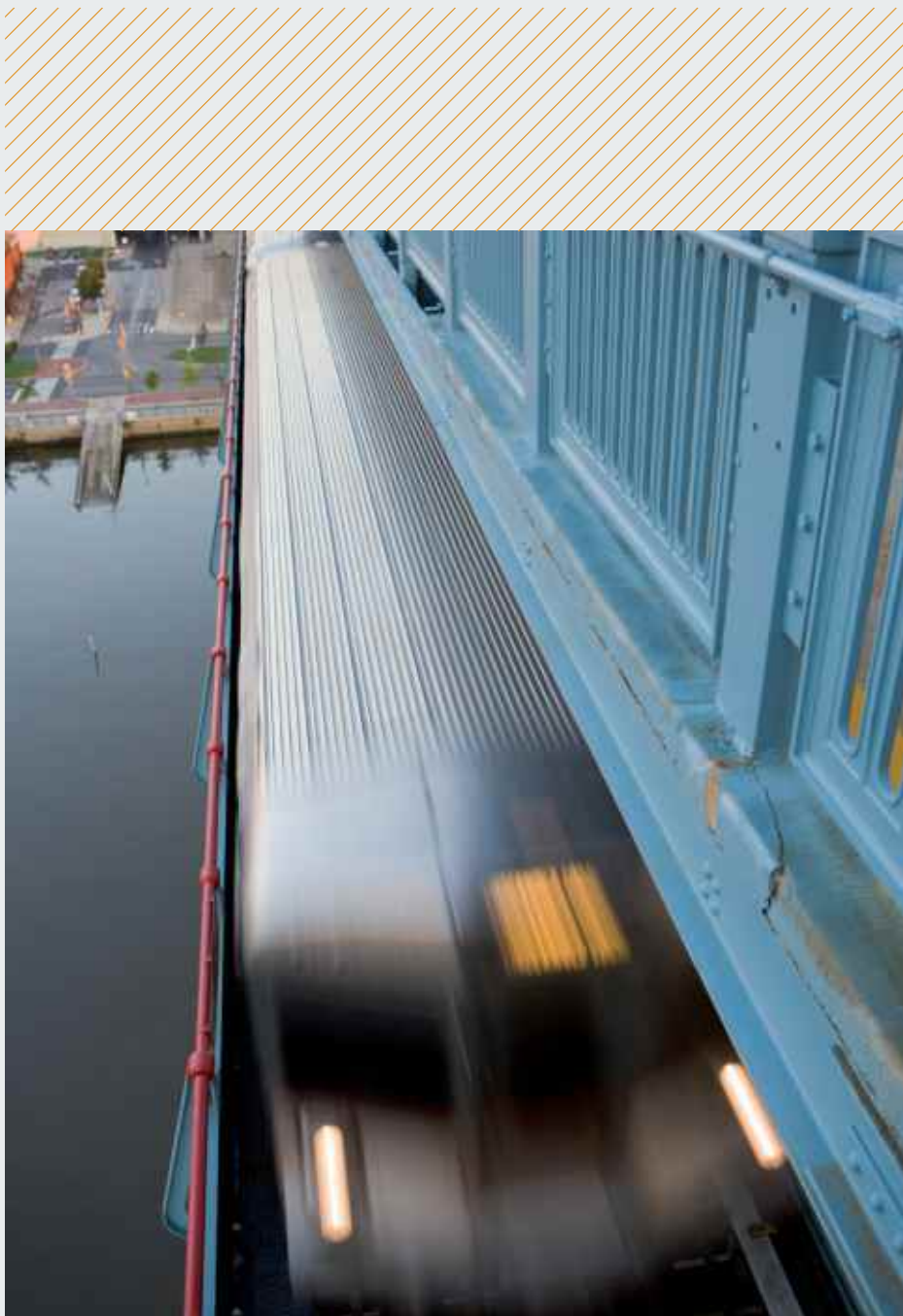
小，同时，系统的隔振效果也随着阻尼值的增大而减弱。

就质量弹簧系统中弹簧的特性而言，这意味着系统的动静刚度比必须尽可能的小。同时，支撑结构的动态刚度也应随着频率和负载的变化而发生较小的变化。

质量弹簧系统的设计计算工作是工程师们所面临的一个最优化问题。要解决此问题就需要工程师们深入掌握相关的专业知识，多年来，Getzner 一直为合作伙伴提供此类专业服务，已经积累了非常多的经验。不过，质量弹簧系统的隔振功能在很大程度上会受轨道板槽或质量弹簧系统内积水的影响。因此在安装质量弹簧系统时，必须设置足够多的排水设施，并确保这些排水设施长期有效。



4 | 铺设形式设计



最近几十年内，欧洲铁路公司针对质量弹簧系统研究开发了一系列设计方案。例如，现场浇筑或预制混凝土板，或者二者组合设计的质量弹簧系统，并且现场浇注或者预制混凝土板质量弹簧系统又分为带有砟道床和不带有砟道床两种样式。

在质量弹簧系统弹性支撑结构的设计中，所选择的施工方法对整个系统的功能和经济效益有着非常重要的影响。

无论是全表面支撑、线性支撑还是点支撑形式，Getzner公司的专业技术优势都将确保为您提供技术无误、经济可持续，并且能满足隔振功能要求的解决方案。



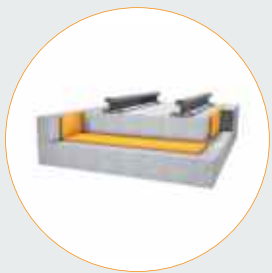
全表面支撑



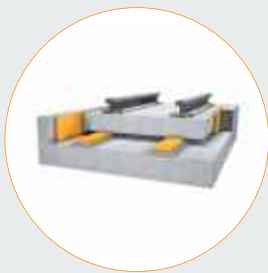
线性支撑



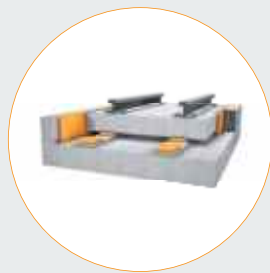
点式支撑



全表面支撑



线性支撑



点式支撑

根据特定的应用，全表面弹性支撑系统的固有频率可控制在 14 ~ 25 Hz 的范围内。这相当于在减振频率范围内，结构噪声可实现高达30 dB衰减量。

Getzner提供的全表面弹性支撑结构具有以下优点：

- 施工方法简便、快速、成本低
- 施工误差较少
- 负载在路基上的分布面积较大
- 可实现轨道支撑构件结构振动的衰减
- 安装接头数量比较少
- 整个系统具有较高的横向稳定性
- 整个系统具有经济性

使用预制构件或将预制构件与现浇混凝土组合使用的线性支撑结构，是质量弹簧系统的首选形式。无论是列车行驶方向产生的水平力（制动力或加速力）还是垂直于轨道轴的力（如离心力和因轨道几何形位误差产生的侧向力），均可通过具有相对较大支撑表面的线性支撑结构得到合理处理。

与全表面支撑相比较，在合理控制工程成本的基础上，使用线性支撑结构的系统固有频率可指在8 ~ 15 Hz的范围内。总体来说，线性支撑结构可使系统结构噪声达到更好的衰减效果。

点式支撑的铺设方式是由轨道板所选的施工方法而确定的。一般而言，点式支撑结构是与轨道支撑板结合在一起起作用的。现浇混凝土制成的轨道支撑板硬化后就可吊装在相应的安装位置上。点式支撑减振垫通过轨道板上的开口放到安装位置点上。

由于列车在运行过程中会产生水平作用力，因此在设计这些相对较小的点式支撑面时，必须注意这些水平作用力的传递。为了将水平挠曲限制在需要的范围内，在实际操作过程中应考虑到剪切模量、支撑层厚度及支撑面积等相关参数的优化问题。

点支撑结构可使系统的固有频率降低到最小值，一般可控制在5 ~ 12 Hz的范围内，因此这种类型的支撑结构可满足结构噪声防护的最高要求。使用这种类型的质量弹簧系统，结构噪声可实现高达30 dB 或超过30 dB的衰减量。

5 | 弹性支撑过渡区域的设计

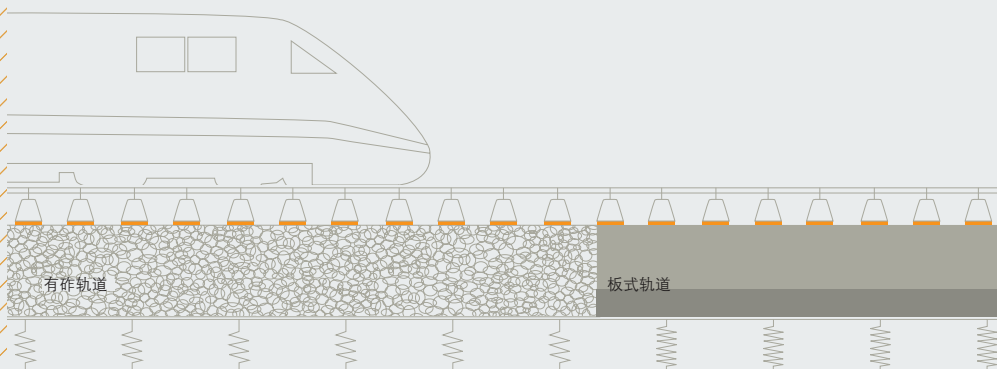
实现平滑过渡的目标

相邻的两种不同类型的轨道上层结构（有碴轨道、板式轨道）之间的过渡区域，必须经过非常精确地设计，以防止钢轨上出现永久性的裂纹。由于质量弹簧系统较普通轨道上层结构具有更高的挠曲形变，因此安装质量弹簧系统的轨道区段上会出现较多的过渡区域。同时由于温度波动及混凝土老化等因素，过渡区可能还要承受其他的特殊载荷。在这方面Getzner也可提供非常具有竞争力的解决方案。

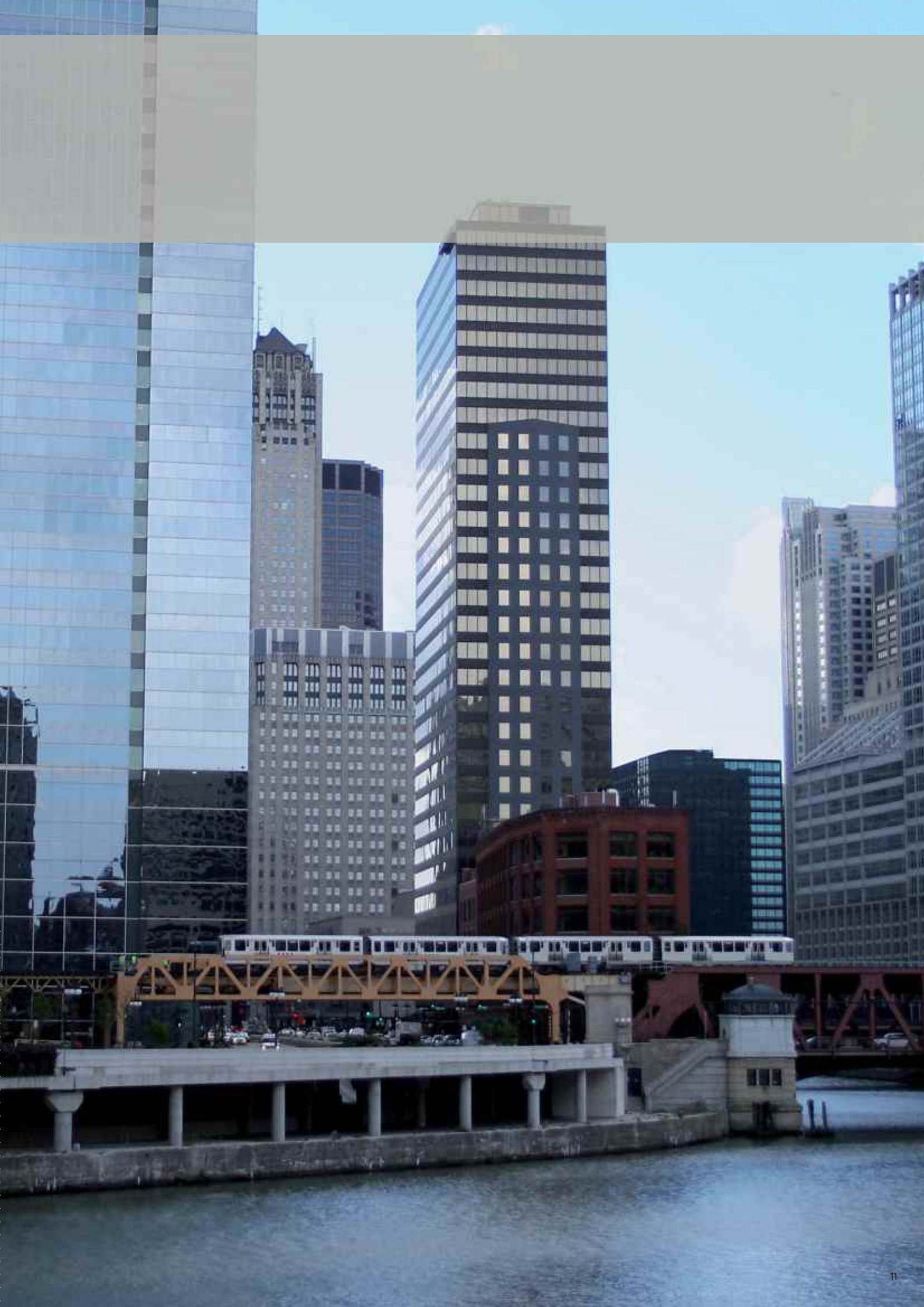
例如，过渡结构中所需达到的系统刚度可通过以下方式实现：

- 加密支撑材料的铺设面积
- 调整支撑材料的刚度
- 安装特殊的轨道扣件系统
- 安装轨枕垫

在质量弹簧系统的安装过程中，必须要考虑支撑点受力过大有可能导致轨道扣件过载这一问题。Getzner使用了有限元分析（FEA）方法对各种因素进行计算和模拟分析，从而得到了过渡区域的最佳设计方案。



如图，在质量弹簧系统和板式轨道之间的过渡区域安装弹性轨枕垫



6 | 施工误差

以我们的经验来保证您的安全

施工或设计过程中的误差，以及某些组件的设置不当或缺失等情况，可能会严重影响到质量弹簧系统的实际隔振效果。

举例说明如下：

- 因排水不充分或缺少排水设施，弹性支撑垫吸水饱和使得其刚度增加，隔振效果减小
- 在全表面支撑系统中，出现缺少侧垫、侧垫不合适或侧垫过硬等情况
- 电缆盒、排水系统进水口与其他接头处之间未采取合适的隔离措施
- 选用的减振材料类型不合适或是减振层的厚度小于规定的最低限值
- 安装接头数量过多
- 支撑材料安装不当或操作不够细致
- 出现如桥面板长度或加固装置等的结构设计不当、负载在弹性体上的分布不均匀等问题



在施工完成之后想要纠正质量弹簧系统中出现施工误差，往往需要耗费大量的人力及财力。根据轨道施工误差的严重程度采取不同的纠正措施，有时甚至需要完全返工。

7 | 安装弹性减振材料须满足的条件



多重面向并通过验证的成熟振动控制技术

在过去的四十余年内，Sylomer® 和 Sylodyn® 材料的隔振效果已经得到有力的证实：针对铁路轨道上层结构中的振动和结构噪声，它们能够提供有效的防护。

总的来说，Getzner公司的Sylomer® 和 Sylodyn® 材料可有效地保护设施结构，提高铁路轨道系统的稳定性，同时减少作用在铁路道碴上的动态负荷，进而能降低铁路基础设施的维护养护成本。即使 经过 30 年或更长时间之后，应用Sylomer® 和 Sylodyn® 材料的轨道系统仍然保持良好的隔振性。现场拆下样件的性能检测证明，即使是使用多年之后，弹性体材料仍无疲劳迹象。

就非全表面支撑结构而言，在项目特性需求的基础上，明确定义支撑材料类型和质量检测等要求显得尤其重要。

依据德国工业规范标准DIN 45673-7，机械振动—弹性部件在铁路轨道系统上的应用—第7部分：质量弹簧系统上弹性部件的实验室测试程序，可以为Getzner产品的适用性以及静态刚度的检测提供更多的证明信息。

质量弹簧系统保持持久隔振效果需满足的条件：

- 对质量弹簧系统的静态刚度必须进行详细的评估，以明确支撑材料所需满足的各种特性。
- 必须经过至少300 万次不同荷载的长期振动试验，才能测定运行载荷对支撑材料特定属性的影响。
- 还必须进一步评估环境因素（如臭氧、水、土壤和化学物质）对支撑材料特性的影响。
- 通过更多测试之后才能确定蠕变、运行负载及环境条件等因素对轨道几何形状变化的影响程度。
- 在材料安装之前就必须仔细地监测其属性。

8 | 有限元分析法





有限元分析可得到以下结果：

- 支撑板的负载能力
- 固定负载作用下支撑材料的静态变形量
- 固有振动模型
- 固有振动频率
- 强度信息
- 动态负载及其作用下的振动运动
- 在特定激振作用下的系统振动行为
- 预测系统的动态行为以确定各类系统参数
- 为实现理想化的动态行为而必须进行的修正

明确您正在处理的问题

在进行系统分析时，必须设计一个替代的包括质量关系、刚度和阻尼系数等参数在内的物理系统。目前最通用的系统分析方法就是有限元分析法(FEA)。

在减振设计过程中，通常假设减振对象（即轨道板）和地基均为刚性体。该假设的目的是希望通过仿真模拟的方式来验证振动隔离设计的效果。不过，如果您想要确定系统的边界条件，并理解系统的整体性能时，就需要使用有限元分析方法（FEA）进一步确定与真实系统相关的其他自由度，并对其进行详细的分析。

客户对隔振设计的要求在不断增加。Getzner作为一家有能力的合作伙伴，能够为研究这类复杂课题的规划人员及工程师提供全面的技术服务。

9 | 安装说明书





质量弹簧系统相
对排水系统的隔离

初步措施

在安装质量弹簧系统时，一定要确保 Sylomer® 和 Sylodyn® 支撑层已将随后铺设的道床板与其周围环境完全隔离开来。声桥可能会影响隔振材料的效能。同时，也须确保排水系统的正常工作。

一般，地基必须平坦且表面无尖锐或凸起的物体。如果地基面的平整性不太好，可以在地基和弹性垫之间铺设一层毛布，以此来保护弹性支撑垫层。同样，混凝土基层经验证也是一种有效的保护弹性支撑垫层的方法。特殊的离散点式支撑结构必须保持稳固，且布置精确到位。通过类似的钢框架结构铺设垫层是一种非常有效的垫层铺设方法。

加固装置在全表面支撑方案中有一定的作用。在这种情况下，必须确保负载能够通过加固结构充分地分布到 Sylomer® 和 Sylodyn® 弹性支撑垫层上。这样可避免支撑层表面（木质或塑料面板）出现过度压缩或变形的情况。

交付

Getzner可直接将材料交付到施工现场：侧垫、线性支撑垫片和离散支撑垫片等采用货盘装运，全表面支撑垫片一般以宽度1.5米的标准卷材形式交付。根据轨道几何形位和现场安装条件，Getzner 会在工厂将弹性材料适当地组装，以确保各类垫片在施工现场能够快速、经济地安装。

地面垫层在铺设时，既可以与轨道轴垂直，也可以与轨道轴平行。但在铺设过程中应尽量减少垫片连接缝的数量。无法避免的少数几个连接缝也应使用胶带将其密封，以防止混凝土混合物进入而形成声桥。

材料铺设

Getzner在装配卷材时，始终非常注意卷材的总重量。也就是说，这些垫片可以由两人组成的安装小组非常轻松地铺设。在这种情况下，每人每天大约可铺设500平方米。线性支承层和离散支撑层一个人就可以铺设。垫层过长部分或伸出的边角可由垫层铺设工人用一次性刀具轻松地切割掉。

如果需要，Getzner可为您制定专业的安装计划或是提供工程监理人员，以确保材料的正确安装。

10 | 全球成功案例

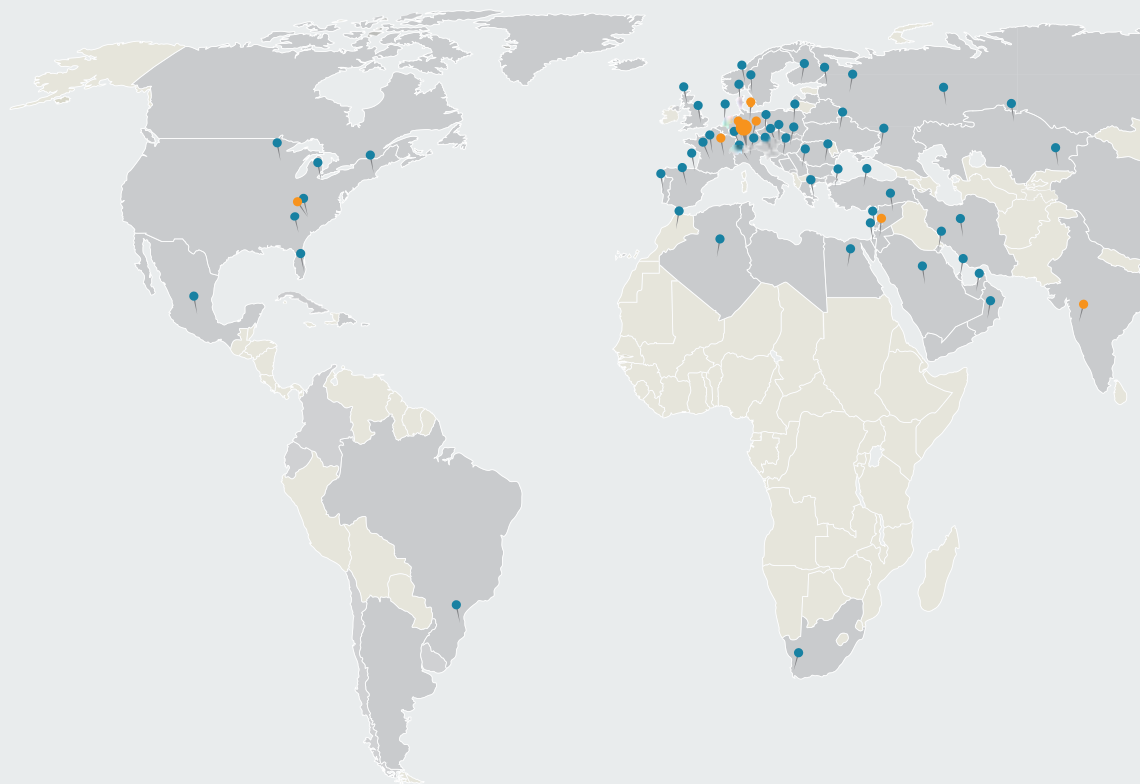


格士纳 的解决方案在全球范围内得到广泛的应用，而 Getzner 专家也一样遍布全球。我们在重要地区设立的10家分公司令我们在当地建立了业务。与众多合作伙伴一起，我们几乎服务于所有相关市场。

分公司分布于：

- 福拉尔贝格州，奥地利
- 柏林，德国
- 慕尼黑，德国
- 斯图加特，德国
- 安曼，约旦
- 里昂，法国
- 东京，日本
- 普纳，印度
- 北京，中国
- 夏洛特，美国

- 分公司
- 合作伙伴
- 参考国家





米兰轻轨线路

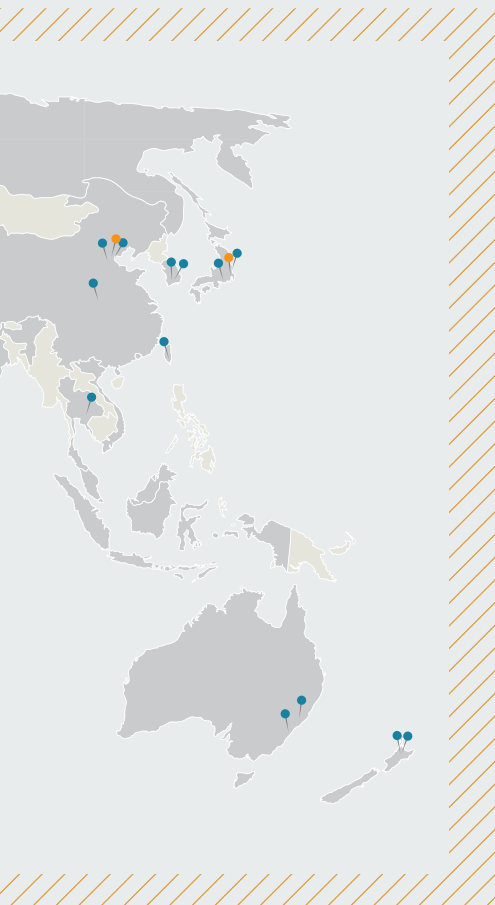


诺丁汉轻轨线路



慕尼黑地铁

格士纳 完成的项目体现了我们的实力。以下是我们在铁路部门的成功案例：



交通轨道

选择项目：

- 布莱纳北入口
- 罗马广场隧道
- 吉玛隧道
- 阿尔贝尔隧道
- 新莱恩斯隧道
- 赛腾贝格隧道（奥地利铁路公司）
- 莱比锡城市隧道
- 老美因茨隧道
- 新美因茨随到
- 蒂尔加藤隧道
- 柏林南北轨道
- 柏林中央火车站
- 安培河大桥
- 科隆/波恩机场铁路
- 锡高隧道
- 英戈尔施塔特 奥迪隧道（德意志联邦铁道股份公司）
- 新阿尔卑斯山脉隧道技术铁路运输工程：苏黎世波尔格隧道，齐默贝格隧道（瑞士联邦铁路）
- 罗马-费米齐诺，乌迪内-塔尔维西奥
- 米兰-萨隆诺
- 卡塔尼亚（意大利铁路）
- 英法海底铁路隧道（英国铁路路网公司）
- 布鲁塞尔（比利时铁路公司）

有轨电车

- 奥格斯堡
- 巴塞罗那
- 柏林
- 伯尔尼
- 波尔多
- 布雷斯特
- 康斯坦丁
- 埃森
- 佛罗伦萨
- 日内瓦
- 哥德堡
- 格拉茨
- 格勒诺布尔
- 伊斯法罕
- 勒芒
- 林茨
- 里昂
- 马德里
- 米兰
- 马赛
- 马什哈德
- 蒙彼利埃
- 慕尼黑
- 南特
- 尼斯
- 诺丁汉
- 奥尔良
- 巴黎-塞纳-圣但尼省
- 巴黎-有轨电车1线
- 布拉格
- 罗马
- 鲁昂
- 圣多明各
- 塞维利亚
- 设拉子
- 斯特拉斯堡
- 斯图加特
- 特内里费
- 巴伦西亚
- 维也纳

地铁/轻轨

- 雅典
- 奥格斯堡
- 柏林
- 波鸿
- 布宜诺斯艾利斯
- 多特蒙德
- 杜塞尔多夫
- 香港
- 仁川
- 克拉科夫
- 米兰
- 慕尼黑
- 纽约
- 纽伦堡
- 维也纳
- 苏黎世

Getzner Werkstoffe GmbH

Herrenau 5
6706 Bürs
Austria
T +43-5552-201-0
F +43-5552-201-1899
info.buers@getzner.com

Getzner Werkstoffe GmbH

Am Borsigturm 11
13507 Berlin
Germany
T +49-30-405034-00
F +49-30-405034-35
info.berlin@getzner.com

Getzner Werkstoffe GmbH

Nördliche Münchner Str. 27a
82031 Grünwald
Germany
T +49-89-693500-0
F +49-89-693500-11
info.munich@getzner.com

Getzner Spring Solutions GmbH

Gottlob-Grotz-Str. 1
74321 Bietigheim-Bissingen
Germany
T +49-7142-91753-0
F +49-7142-91753-50
info.stuttgart@getzner.com

Getzner France S.A.S.

Bâtiment Quadrille
19 Rue Jacqueline Auriol
69008 Lyon
France
T +33-4 72 62 00 16
info.lyon@getzner.com

Getzner Werkstoffe GmbH

Middle East Regional Office
Abdul - Hameed Sharaf Str. 114
Rimawi Center - Shmeisani
P. O. Box 961 303
Amman 11196, Jordan
T +9626-560-7341
F +9626-569-7352
info.amman@getzner.com

Getzner India Pvt. Ltd.

1st Floor, Kaivalya
24 Tejas Society, Kothrud
Pune 411038, India
T +91-20-25385195
F +91-20-25385199
info.pune@getzner.com

Nihon Getzner K.K.

6-8 Nihonbashi Odenma-cho
Chuo-ku, Tokyo
103-0011, Japan
T +81-3-6842-7072
F +81-3-6842-7062
info.tokyo@getzner.com

Getzner Materials (Beijing) Co., Ltd.

No. 905, Tower D, the Vantone Center
No. Jia 6, Chaowai Street, Chaoyang District
10020, Beijing, the P.R.C.
T +86-10-5907-1618
F +86-10-5907-1628
info.beijing@getzner.com

Getzner USA, Inc.

8720 Red Oak Boulevard, Suite 528
Charlotte, NC 28217, USA
T +1-704-966-2132
info.charlotte@getzner.com

www.getzner.com

