

中瑞零碳建筑项目

让我们共同打造气候中和的未来
Building a climate-neutral future together



零碳建筑设计及建造导则



中华人民共和国
住房和城乡建设部



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

intep
skat Swiss Resource Centre and
Consultancies for Development

说明

编辑信息

2025 年 7 月，版本 1.0

主要作者

Intep-Skat 团队

- Roland Stulz
- 朱继龙
- 路枫博士
- André Ullal 博士

Low-Tech Lab GmbH 团队

- Martin Ménard

Faktor Journalisten AG 团队

- Paul Knüsel

中国建筑科学研究院 CABR

- 张时聪博士
- 杨芯岩博士

项目发起与指导方

- 中华人民共和国住房和城乡建设部
- 瑞士联邦外交部发展合作署

目录

1. 引言	3
2. 性能与建设	4
2.1 背景与挑战	4
2.2 全国视角下的温室气体排放	4
2.3 瑞士建筑行业碳排放审计	5
3. 以实现净零排放为目标	8
3.1 背景与挑战	8
3.2 建筑全生命周期碳排放	8
3.3 规范与标准	11
4. 规划策略	13
4.1 背景与挑战	13
4.2 设计与建筑调试策略	13
5. 气候友好的设计与结构	15
5.1 背景与挑战	15
5.2 设计与结构	15
5.3 使用耐久性部件	17
6. 循环材料	18
6.1 背景与挑战	18
6.2 建筑隐含碳评估	18
6.3 建筑材料中的碳储存	21
7. 评估中的挑战与关键点	23
7.1 碳排放核算	23

7.2 关键点 25

1. 引言

本报告聚焦瑞士建筑行业在实现“净零排放”目标过程中的关键挑战与应对策略，系统梳理了从国家政策、碳排放核算、建筑设计到材料选择等方面的核心内容，旨在为建筑行业的低碳转型与循环发展提供理论支撑与实践参考。

得益于先进的技术水平和严格的法规要求，瑞士新建建筑在运行阶段已普遍实现高能源效率和低碳排放。然而，建筑全生命周期中的隐含碳排放，尤其是在建造、维护和拆除等环节所产生的间接排放，正在成为新的挑战。本报告的目标是通过系统研究，推动建筑行业从“运行阶段减碳”向“全生命周期碳中和”转型。

主要内容与亮点

1. 全国碳排放现状与趋势分析：瑞士已将 2050 年实现净零排放写入法律，并设立了分阶段减排目标。建筑行业的碳排放自 1990 年以来下降了约 44%，主要得益于供暖系统的电气化与热泵替代，以及更高效的建筑保温标准。
2. 建筑全生命周期碳足迹评估：随着运行阶段碳排放大幅下降，建筑材料的碳排放（即范围 3）成为主要排放源，占比超过 74%。本报告引用欧洲 EN 15978 和瑞士 SIA 2032 等技术规范，对建筑生命周期中的各个阶段进行详尽划分，并强调在早期规划阶段作出减排决策的必要性。
3. 减排路径与循环策略：报告提出三大核心策略：“避免新建”“材料替代”“延长寿命”，并引入“5R 循环原则”（避免、再思考、减少、再利用、回收），为建筑行业的减排与资源循环提供了系统的设计和管理框架。
4. 标准体系与政策工具：瑞士在绿色建筑认证与碳排放限值方面已建立较为完善的体系，包括 MuKEn 示范条例、Minergie 认证体系和 SIA 390/1 技术标准。这些标准正逐步从运行能效扩展到建造阶段的碳排放控制，推动行业全面向低碳转型。

5. 评估方法与关键挑战：报告梳理了 KBOB 数据平台、SIA 2031/2032 规范等主流评估工具，并指出当前评估体系在生物基材料碳储存时限、碳抵消的合理性等方面仍存在争议与改进空间。尤其是对负排放的界定和监管尚需进一步明确。

推动建筑行业实现真正意义上的“净零排放”，不仅需要技术的进步和政策的引导，更需在全生命周期各个阶段统筹考虑碳排放控制。瑞士的实践经验表明，只有将碳减排理念深入融入设计、施工、运营与拆除的全过程，才能实现从“高效建筑”向“气候正向建筑”的根本跃升。

2. 性能与建设

2.1 背景与挑战

随着瑞士建筑技术的持续进步和相关法规的不断完善，新建建筑普遍具备较高的能效水平。同时，建筑在供暖、制冷和热水等方面对可再生能源的依赖程度日益提高。因此，新建建筑在运行阶段通常能够实现零碳排放或达到气候中和的要求。

在此背景下，建筑行业面临的下一个关键挑战是来自建造与拆除等上下游环节的碳排放。随着运行阶段排放的持续降低，这部分间接排放放在建筑全生命周期中的占比不断上升。通过生态产品评估（LCA）等方法，可对这些排放进行量化和披露。



图 1 通过建筑行业上下游阶段了解建筑全生命周期碳排放。图片来源：Archidaily.com

2.2 全国视角下的温室气体排放

2023 年，瑞士的二氧化碳排放总量为 2830 万吨，人均排放量不到 4 吨，较 1990 年下降了近三分之一。化石燃料燃烧所产生的碳排放中，约 80%用于满足供热需求。

根据《巴黎协定》的原则，温室气体排放应遵循“谁污染，谁负责”的归属机制。瑞士的碳排放统计按照排放来源分为多个领域，包括交通、建筑、工业、农业、垃圾焚烧等。

从 2022 年数据来看，交通部门的排放量最高，占比达 33%；其次是建筑行业，占 23%；工业和农业分别占 16%和 15%。垃圾焚烧占 10%，但这一比例多年来相对稳定。尽管焚烧过程中会产生一定的碳排放，但其废热被广泛用于住宅区的区域供热网络，提高了能源的综合利用效率。

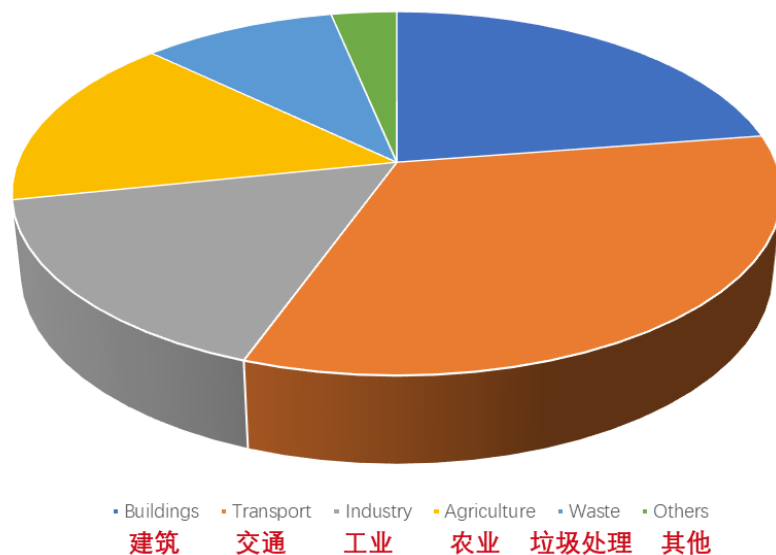
值得注意的是，建筑行业的排放主要来自以化石燃料为基础的供热系统，而工业排放中则包括与建筑相关的水泥和钢铁生产过程，两者的碳排放总量目前已处于相近水平。

瑞士各行业温室气体排放（数据为 2022 年数据）

- 交通：33 %
- 建筑：23 %**
- 工业：16 %
- 农业*：15 %
- 垃圾焚烧：10 %
- 其他：3 %

* 温室气体主要是甲烷（CH₄）和 N₂O

瑞士温室气体排放 2022
GHG Emissions Switzerland 2022

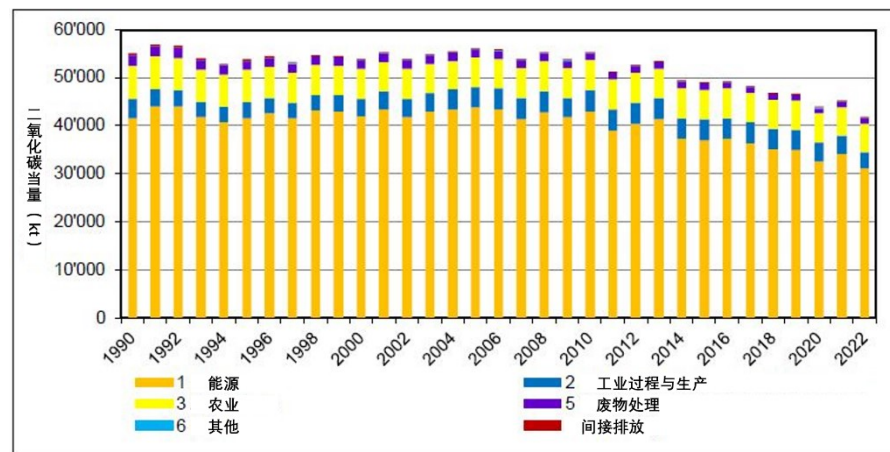


与 1990 年相比，瑞士的二氧化碳排放总量已减少了约四分之一。其中，建筑领域的减排幅度更为显著，排放量下降了近三分之一。

尽管瑞士仍在不断建设新建筑，但越来越多的业主选择以热泵为代表的零碳供热系统，逐步取代以化石燃料为主的传统供暖方式。这一转变显著降低了建筑行业的直接碳排放。同时，建筑保温标准不断提高，进一步降低了单位建筑面积的能源需求，进而使建筑整体能耗水平仍呈下降趋势。

- 交通：降低 7%
- 建筑：降低 44%

- 工业：减少 37%
- 垃圾焚烧：增加 10%



2.3 瑞士建筑行业碳排放审计

到 2025 年，瑞士已将“到 2050 年实现净零排放”的国家气候目标正式写入法律，并设定了以十年为周期的阶段性减排路径。

根据该路径，瑞士应在 2020 年前将温室气体排放量较 1990 年减少 20%，这一目标已基本达成。下一阶段目标是到 2030 年，在 1990 年基础上减少 50% 的直接温室气体排放，建筑行业同样必须实现相应的减排要求。

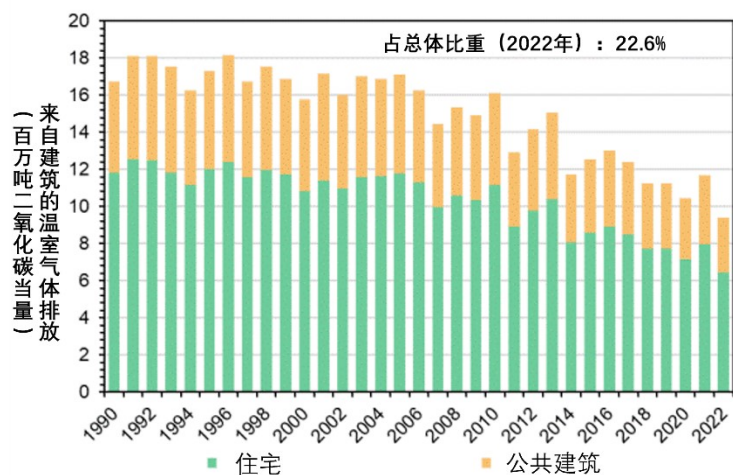


图 4 建筑部门（住宅和办公楼）能源使用产生的温室气体排放。图片来源：瑞士能源办公室

建筑标准：优化建筑能效

目前，瑞士建筑每平方米每年二氧化碳排放的参考值为 12.5 千克。为推动低碳转型，联邦和州政府为私人业主在建筑翻新和更换供暖系统方面提供财政支持。

根据《瑞士建筑行业能源与排放技术法规经验调研》报告，瑞士在政策设计和技术规范（TER）制定方面拥有长期经验，其核心目标是提高建筑能效并降低温室气体排放。随着法规的不断演进，监管重点也逐步从运行阶段的能耗控制拓展至可再生能源的广泛应用。

相关规范中的量化要求日益严格，推动新建建筑在围护结构性能等方面持续优化，从而显著降低能耗。自 2014 年起，各州还对建筑供暖中化石燃料的使用比例设定了上限。

供暖能源需求基准（住宅建筑）

- 规范与法律：2014 年各州建筑节能示范条例（MuKEn）：35kWh/m²y
- 市场标准，例如 Minergie 2022 年绿色建筑认证：低于 30kWh/m²y

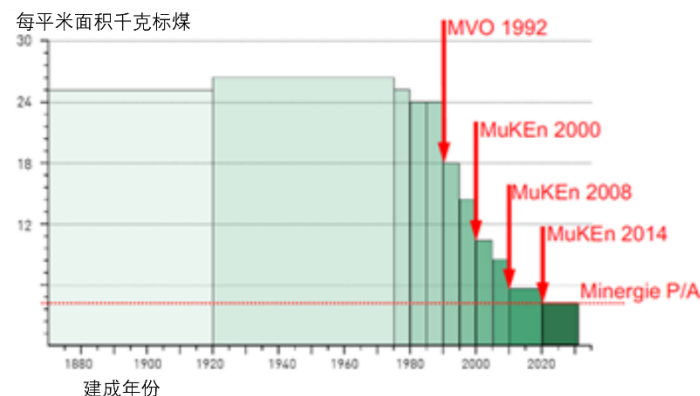


图 5 瑞士新建建筑节能标准的发展；MVO/MuKEn--法律规定，Minergie--市场标准。图片来源：中瑞零碳建筑项目

建筑碳排放——范围 1 与范围 2

依据《巴黎协定》，建筑碳排放的行业视角如下：

- 建筑供暖与热水供应产生的排放（范围 1）
- 购买能源产生的排放（包括热能和电能）（范围 2）

范围 3：间接排放

与建筑物的碳排放产生关联的行业配置拓宽了行业视角，还包括以下来源：

- 产品和服务的上游和下游活动产生的间接（与生产相关的）温室气体排放（范围 3）

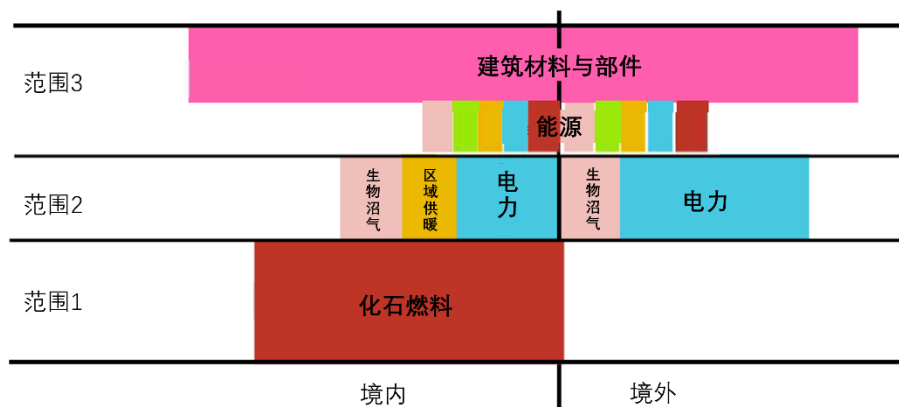


图 6 根据《巴黎协定》界定的建筑物碳排放的部门视角，图片来源：LowTech

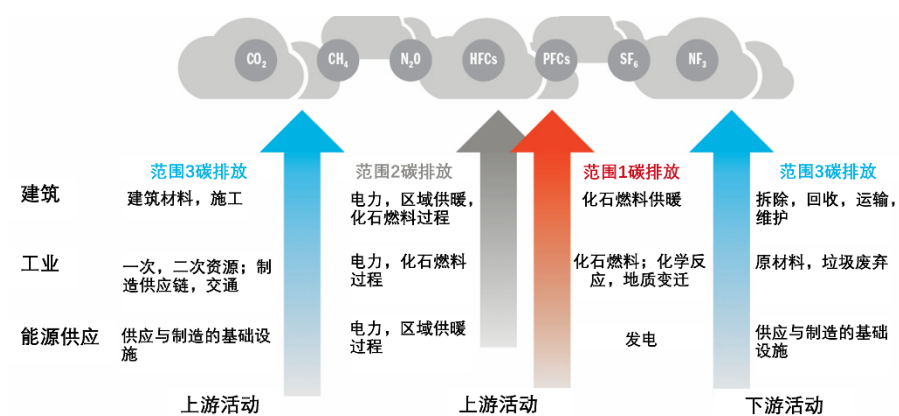


图 7 根据《温室气体议定书》对建筑部门碳排放的调查和分类，图片来源：LowTech

3. 以实现净零排放为目标

3.1 背景与挑战

在瑞士，政府机构、建筑科研界及房地产行业的先行者正积极推动对“净零建筑”概念的统一认识。当前对净零建筑的通用定义是：通过最大限度地减少建筑在施工和运行全过程中的生命周期碳排放，并借助可实现抵消效果的建筑材料和构件，削减难以避免的剩余排放。所谓“负排放”，是指通过相应措施从大气中去除温室气体，主要方式是将生物碳长期稳定地储存在地表系统中。

当前备受关注的—种路径是使用生物基建筑材料建造具备临时碳汇功能的建筑。然而，面临的关键挑战在于如何将这类临时碳汇有效转化为可持续、长期的负排放。



图 8 木屋，苏尔湖（卢塞恩州）2022；建筑师：marc syfrig. 图片来源：Pirmin Jung AG

3.2 建筑全生命周期碳排放

得益于出色的建筑能效和高比例的可再生能源利用，瑞士新建建筑在运行阶段的直接二氧化碳排放通常较低。然而，建筑整体的碳足迹还包括大量的间接排放，主要源自建造过程中所使用的材料。这些间接排放放在高效建筑的生命周期碳排放中已占据超过一半的比例。材料及构件在开采、生产、运输和拆除等环节中所产生的排放，往往非常可观。

为有效降低这些上下游环节的碳排放，必须在项目开发初期便做出战略性决策。随着设计方案逐步具体化，可实现的减排空间会显著缩小。因此，减少隐含碳和材料边界碳排放应当从一开始就与结构设计和构件选择紧密结合，作为整体建筑规划的一部分系统考虑。

全生命周期建筑碳排放（符合高能效标准）

- 运行阶段碳排放：26%
- 材料边界碳排放：74%

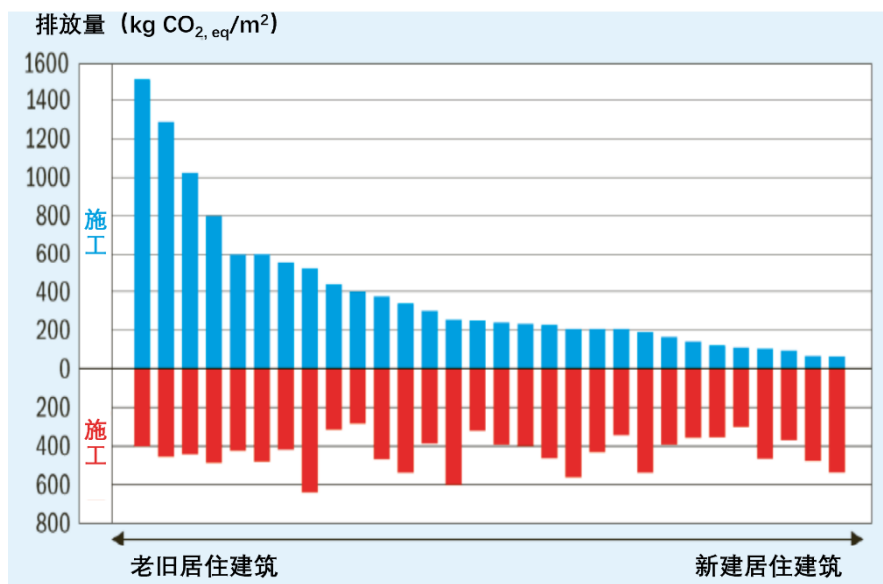


图 9 不同时期建筑的排放比例；蓝柱：运行排放，红柱：隐含排放，图片来源：LowTech

建筑物生命周期内的累积排放量

运行阶段排放来自于：

- 建筑现场供暖，热水所消耗的能源（范围一）
- 建筑电力和区域供暖消耗（范围二）

材料边界排放来自于：

- 材料生产
- 建筑建造

- 维护修缮
- 拆除废弃

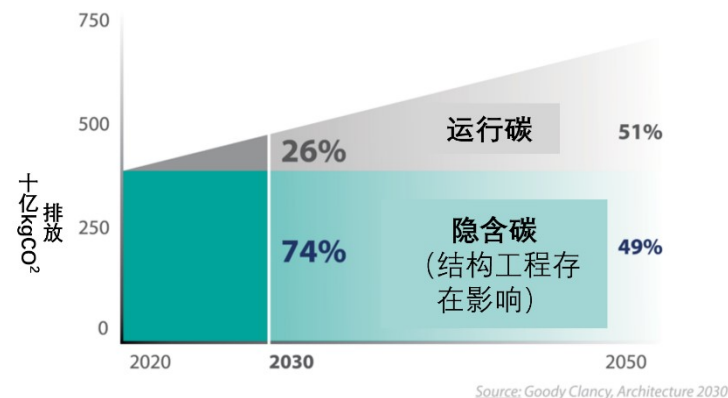


图 10 建筑全生命周期评估的碳排放比例，图片来源：LowTech

建筑生命周期（欧盟标准 EN 15978）

欧洲范围内欧盟技术规范 EN 15978 对建筑生命周期进行了定义，包括：

- 原材料开采
- 生产、处理
- 建造
- 使用
- 维护
- 拆除
- 循环
- 废弃
- 再利用



图 11 EN 15978 规定的建筑物生命周期评估模块；图片来源：NBI

备注：瑞士的建筑生命周期评估技术法规与 EN 15978 不同，跳过了一些相关性较低的模块。技术法规 SIA 2032 规定了以下阶段（见第 5 章）：

- 生产：A1, A2, A3
- 维护/修理：B4
- 报废：C3, C4

建筑构件碳足迹

间接排放的大部分可归因于建筑物的围护结构，即主要具有静态功能的组件。在大多数案例研究中，以下建筑构件与碳强度息息相关：

- 地基
- 楼地面
- 结构
- 柱和梁
- 外墙
- 楼板
- 内门

- 内墙
- 楼梯和坡道
- 门、窗
- 屋顶

建筑构件的碳足迹，以 $\text{kg}/\text{CO}_2, \text{eq}/\text{m}^2 \text{ ERA/a}$

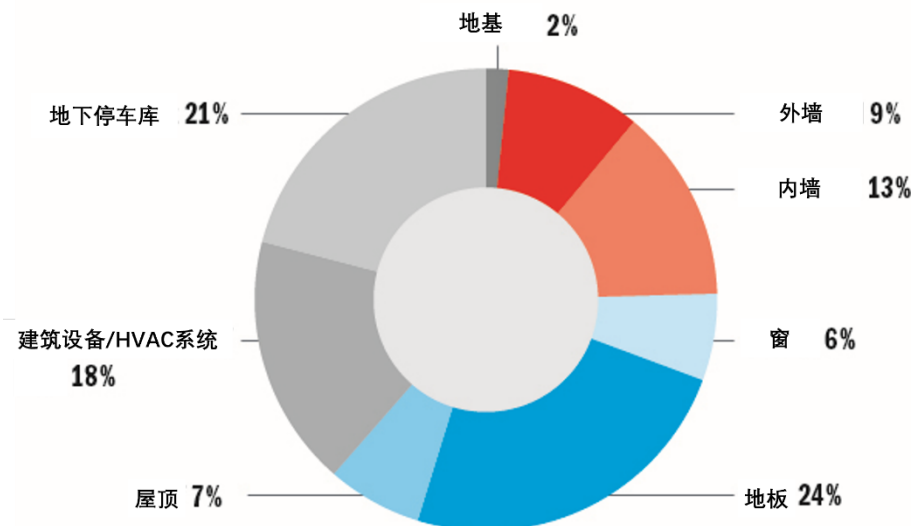


图 12 建筑构件的碳足迹；图片来源：Nova Energie

建筑材料碳足迹

一项对于瑞士多户住宅的案例调研表明，常见的产生碳排放的材料如下：

- 混凝土
- 暖通空调系统

- 矿物材料，玻璃
- 塑料（或其他可燃材料）
- 钢铁
- 木材
- 砖石

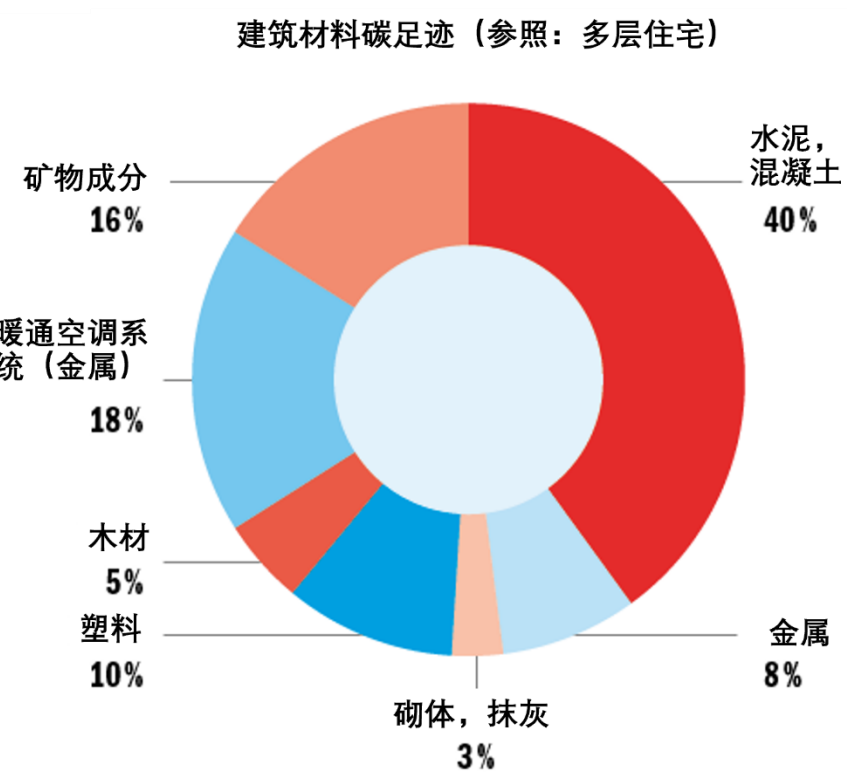


图 13 一般建筑常见的建筑材料碳足迹比例；图片来源：Faktor

3.3 规范与标准

根据瑞士的净零排放战略，各州计划对建筑行业的间接排放进行监管。《MuKEN 2025》提出了与建筑相关的温室气体排放限值。如下表所示，欧洲各国已经在法规中实施了类似的规定。

	规定（法律，规范）	市场（标准，认证）
瑞士	12 kg CO _{2,eq} /m ² a (MuKEN 2025)	11 kg CO _{2,eq} /m ² a (Minergie) 9 kg CO _{2,eq} /m ² a (SIA 390/1)
丹麦	7 kg CO _{2,eq} /m ² a	6 kg CO _{2,eq} /m ² a (减排指南)
德国	暂无	9 kg CO _{2,eq} /m ² a (DGNB)
法国	8-14 kg CO _{2,eq} /m ² a (RE2020)	暂无

MuKEN 2025：上下游行业碳排放规定的草案

瑞士政府启动了一项循环建筑计划，旨在规范隐含碳排放量。因此，各州规定了建筑施工阶段的碳排放限额。该草案是《MuKEN 2025》示范条例修订的一部分。

Minergie-Eco：可持续建筑标签

Minergie 建筑证书在瑞士房地产市场中的节能建筑领域具有先示范作用。自 2022 年起，建造过程中的温室气体排放也被纳入评估范畴。为了获得“Minergie-Eco”标签，新建建筑必须符合限值要求。通过《瑞士可持续建筑标准》（Swiss Sustainable Building Standard）获得认证的建筑也必须进行此项评估。

SIA 390/1: 瑞士建筑师与工程师协会设定的气候标准

技术标准 SIA 390/1 “气候途径——建筑物生命周期内的温室气体平衡”要求建筑业主和规划者在自愿的基础上实现建筑物的最低碳足迹。这一标准定义了建筑施工、运行和交通过程中的排放目标值。所有三个方面的碳排放总和被定义为具有约束力的目标值。

目标值：

- 展望值 A：依据巴黎协定制定，施工阶段 6kgCO₂/m²y，运营阶段 1kg CO₂/m²y (额外的交通：1kgCO₂/m²y)
- 基础值 B：依据瑞士气候法律：施工阶段 8kgCO₂/m²y，运营阶段 2kg CO₂/m²y (额外的交通：1kgCO₂/m²y)

目标值包括施工、运营和（与地点相关的）交通产生的碳排放。额外要求包括施工和运营过程中的碳排放。计划每五年对 SIA 390/1 进行一次定期技术审查，以调整目标值和额外要求的水平（见下图）。

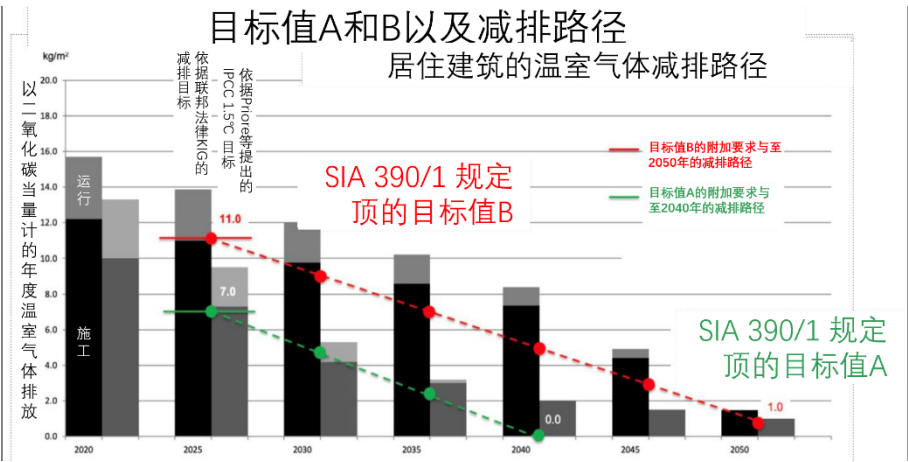


图 14 瑞士温室气体排放的目标路径（黑柱）和气候路径 SIA 390/1 的要求（A 级-绿色；

B 级-红色；黑色-建造；灰色-运营）；图片来源：SIA

进一步讨论：法律为基础的气候目标路径

联邦当局、科学家和建筑专家正在就净零建筑达成共识。目前，瑞士能源办公室（SOE）的一项研究提出了一个主张：

“温室气体净零排放的建筑在其整个生命周期内的施工和运行阶段中排放的温室气体最少，并通过可抵消的负排放将建造和运行过程中难以避免的其余温室气体排放减少到净零”。(来源：SOE)

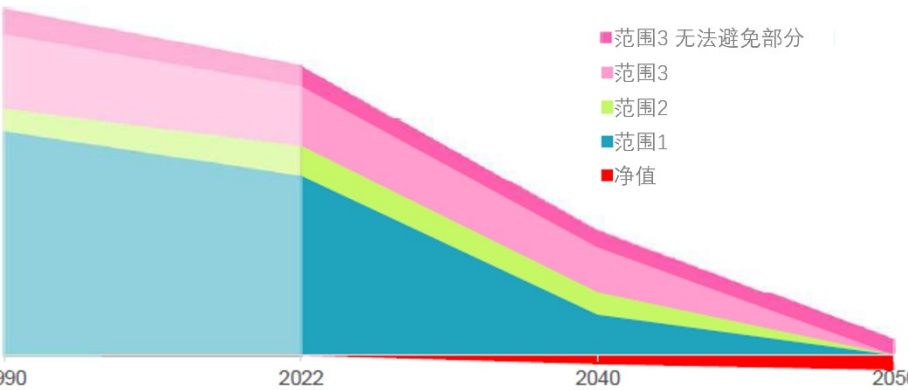


图 15 气候目标路径；研究课题：建筑温室气体净零排放；图片来源：NN-THGG/SOE

4. 规划策略

4.1 背景与挑战

绿色建筑领域的一个重要经验是：建筑设计与结构的早期决策对全生命周期碳排放的影响最大。因此，业主、开发商和建筑师等核心参与方在设定净零碳建筑目标及路径时（包括上游与下游排放）发挥着关键作用。

正如建筑生命周期包含多个明确阶段，规划过程也遵循由粗到细的时间序列——从最初的构想，到通过研究评估不同方案，再到最终确定设计并落实施工。在这一过程中，建筑物的原材料和结构逐步定型。因此，核心挑战在于：如何在每一个关键决策节点上，将减碳战略有机地融入到规划与设计的全过程中。

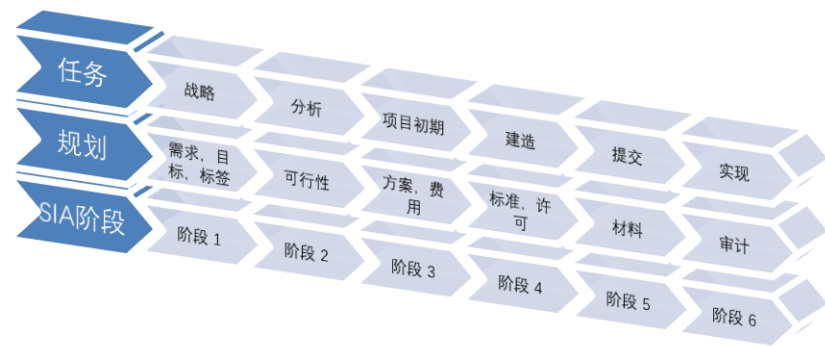


图 16 瑞士工程师和建筑师协会关于建筑师服务和规划阶段的规定。
图片来源：建筑师 Hägi Riatsch

4.2 设计与建筑调试策略

在战略层面，相关利益方需要共同制定明确的框架，确保建筑在其全生命周期内实现既定的减排目标。当前，建筑领域已提出多种资源节约型的设计与规划理念，为实现这一目标提供了切实的路径和方法。

可持续建筑框架

策略	目标	建筑设计的措施
避免	用更少的材料建造	减少人均居住面积，提高资源和能源效率， 避免新建建筑
改变	使用低碳排放的材料	采用低二氧化碳排放、生物基资源材料； 采取本地供应链、可重复使用的材料和部件； 应用可再生能源
提高	更长的使用寿命	建筑部件和建筑物的再利用； 灵活的建筑系统和平面规划； 能源供应的脱碳化

另一个相关投入来自循环经济：5 “R” 战略的概念适用于房地产行业，具体如下：

策略	措施
避免 (Refuse)	避免新建建筑
再思考 (Rethink)	以不同方式更灵活地利用现有资源
减少 (Reduce)	消耗更少的资源，减少排放和污染
回收 (Reuse)	延长组件的生命周期
循环 (Recycle)	分离材料（在拆除过程中）并回收利用



图 17 可持续利用初级资源的 R 策略层次结构；图片来源：circularise

5. 气候友好的设计与结构

5.1 背景与挑战

建筑物中约 70%的质量来源于其围护结构和承重结构。这些部分不仅消耗了大量资源，也在建筑生命周期的上下游环节中产生了显著的温室气体排放。

通过合理的设计与结构优化，有望显著降低这些构造环节所带来的碳排放。对于新建建筑而言，最具减排潜力的做法是尽量精简结构构件的尺寸，减少材料用量，从源头控制资源消耗与隐含碳。

此外，提升围护结构和承重系统的灵活性，使其在建筑使用过程中便于调整和再利用，也有助于延长建筑整体的使用寿命，从而实现更高的气候效益。

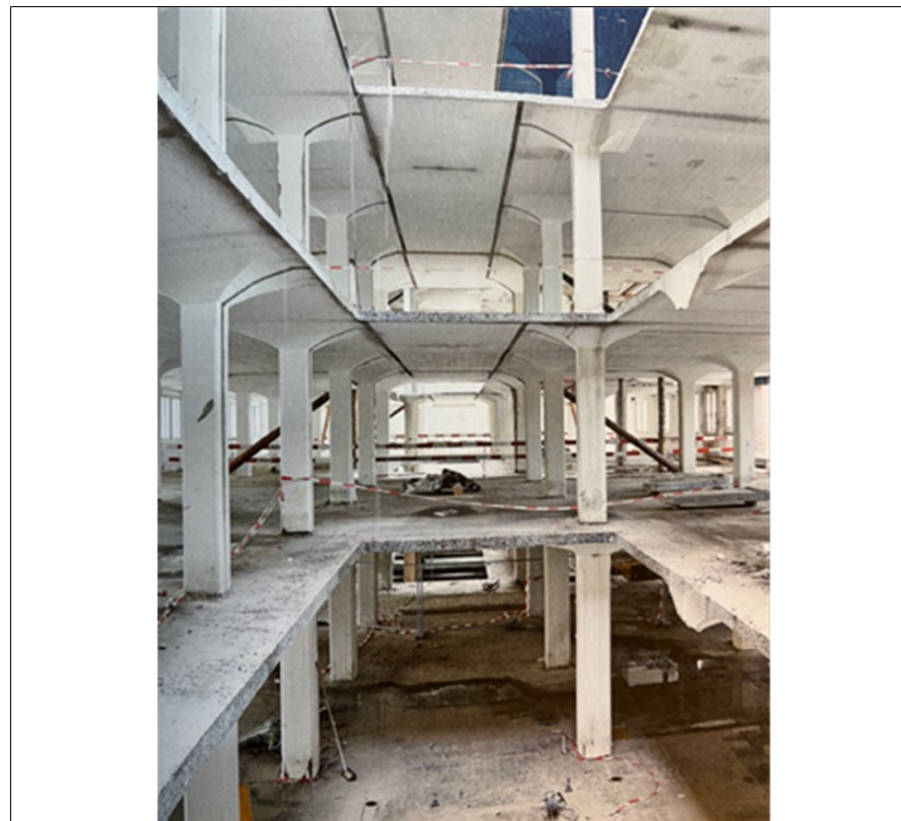


图 18 承重结构的变更：从仓库到公寓楼；图片来源：Freilager, Gataric

5.2 设计与结构

Intep 与苏黎世联邦理工学院联合开展的研究项目“ZeroStrat：新建建筑施工期间的低排放策略”，系统分析了多种已知措施在降低建筑间接碳排放方面的效果。研究以一栋新建公寓楼为参考对象，仅考虑其围护结构和承重结构，未纳入内部设备和功能。该参考建筑采用传统的混凝土墙体与楼板结构。

在对不同施工方式和建筑材料选择对材料碳足迹的影响进行评估后，研究得出以下主要结论：

- 与传统混凝土结构相比，采用环保保温材料和预制构件（如楼板系统）的木结构建筑，在施工阶段的碳排放可减少高达 45%。
- 若选择对现有建筑进行翻新而非新建，可将间接碳排放最多减少 65%。
- 若翻新过程中进一步采用环保建筑材料和可重复使用的部件，减排幅度可达 75%。

围护与承重结构设计示范：

- 设计紧凑简单
- 优化（线性）承重结构

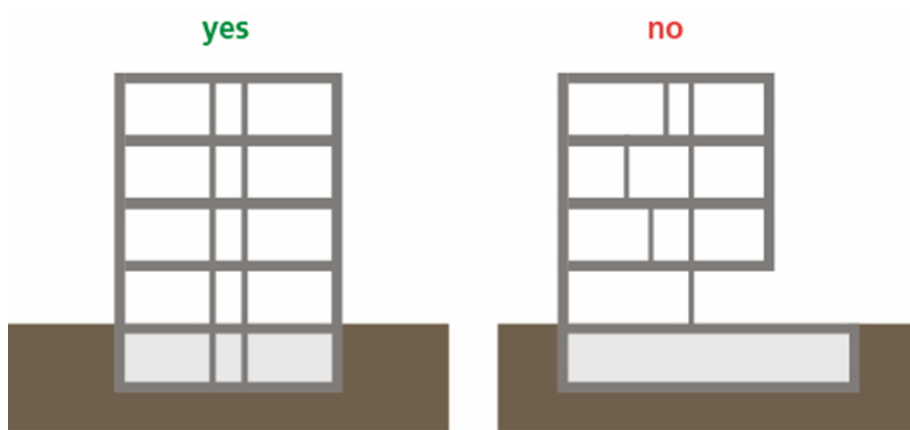


图 19 线性承重结构；图片来源：Factor

基础设计示范：

- 减小基础或者地下停车场规模

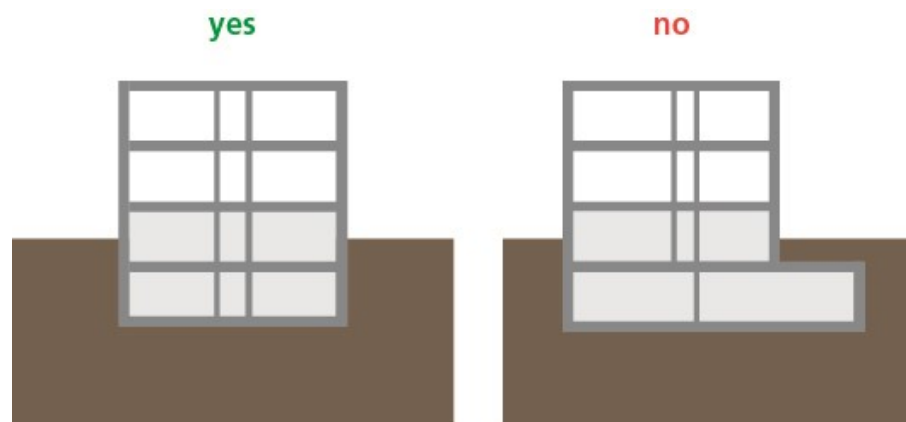


图 20 减小地下停车场规模；来源：Factor

围护结构与立面设计示范：

- 窗墙比低于 50%



图 21 温特图尔的办公建筑；建筑设计：BGP Partner

5.3 使用耐久性部件

延长建筑物的使用寿命是减少碳排放最有效的手段之一。相比之下，如果一栋建筑被拆除并由新建筑替代，其围护结构和承重结构将再次产生大量碳排放。因此，从气候保护的角度出发，优先选择对现有建筑进行现代化改造，而非新建，是更加可持续的做法。

在此过程中，应尽量控制改造的深度和工作量，以避免产生过多额外排放。同时，建筑及其构件在初始建造阶段就应避免材料混层，以便未来能够更容易地进行维护、改造或退役，提高再利用与循环利用的可行性。

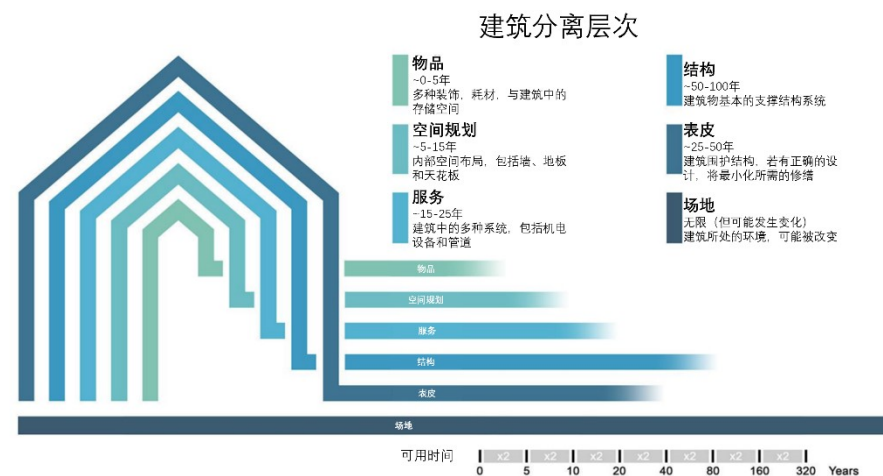


图 22 依据生命周期长度的建筑分层

6. 循环材料

6.1 背景与挑战

循环建筑的衡量标准是建筑物、部件和建筑材料的易拆解程度。可拆解设计应当在新建建筑的早期规划阶段纳入考虑。

为进一步保护自然资源，可以尽可能使用回收材料（二次建材）、再生建材以及可回收建材。



图 23 温特图尔 ZHAW 校园内 K118 厅（2021 年）三层楼的红色外墙和支撑结构主要由重复使用的部件组成。建筑：Bau-büro in situ；图片来源：Martin Zeller

6.2 建筑隐含碳评估

部件

- 案例研究：再利用部件和新部件的隐含排放

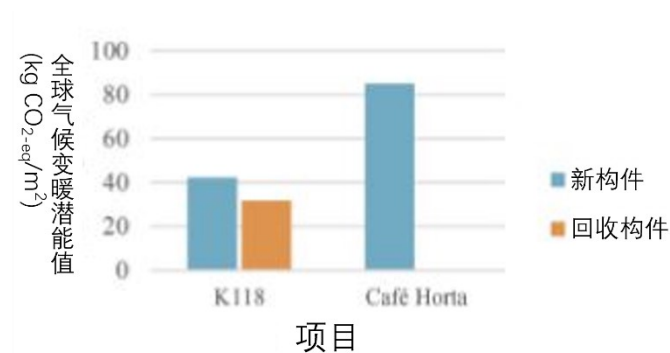


图 24 新部件和再利用部件的全球升温潜能值（K 118 项目，见上文）；资料来源：ETHZ

- 案例研究：建筑材料碳足迹



图 25 梁丹麦皇家学院的建筑材料金字塔可以比较不同类别材料之间或同一类别材料类型之间的碳足迹。此外，还可以查看不同材料对环境造成的不同影响。资料来源：
www.materialepyramiden.dk

材料

近年来，瑞士建筑施工过程中产生的碳排放几乎未出现显著下降。为推动建筑行业的减排进程，瑞士能源公司联合苏黎世市政府开展了一项研究，旨在评估建筑材料生产商在优化生产工艺的前提下，能够实现的减排潜力。

研究重点分析了未来在瑞士本地生产或使用的结构性建筑材料，包括矿物材料、金属、木材和塑料等的全生命周期碳排放情况。评估结果显示，若相关行业持续推进工艺优化，建筑材料生产阶段的碳排放平均有望减少约 65%。从建筑整体层面来看，施工与拆除阶段的碳排放则可减少约 50%至 60%。

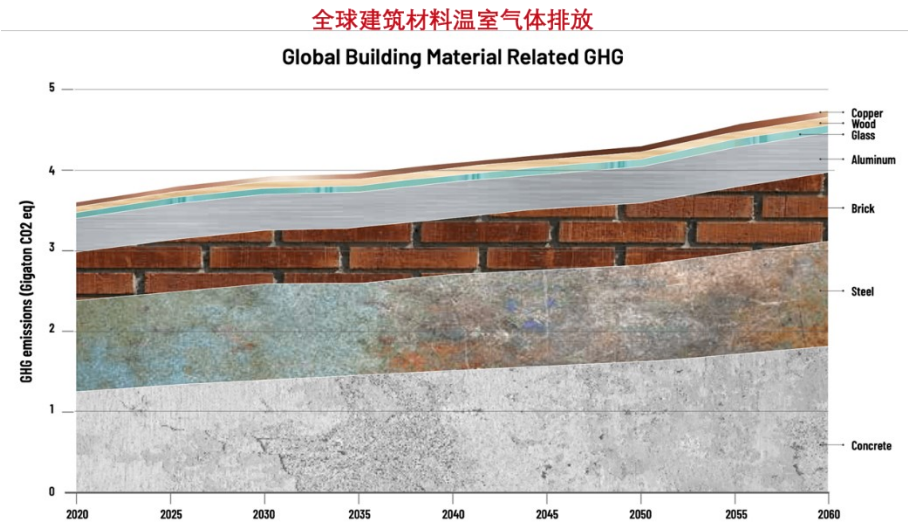


图 25 建筑材料生产产生的碳排放量。图片来源：rmi.org

瑞士的案例研究：混凝土

材料	碳排放强度*
混凝土，含生物炭	238 kg CO _{2eq} /m ³
混凝土，常规	230 kg CO _{2eq} /m ³
混凝土，回收	230 kg CO _{2eq} /m ³
混凝土，碳化	227 kg CO _{2eq} /m ³
混凝土，熟料减少水泥	167 kg CO _{2eq} /m ³

* 计算方法采取瑞士常用的 KBOB 方法（见第 6 章）

瑞士建筑材料的回收比例

瑞士一般的废弃建筑材料管理水平如下：

- 被拆除建筑物中的混凝土颗粒和混合颗粒可以回收利用，并作为矿物建筑材料重新制造。回收率约为 80%。
- 废铁和废钢等金属废料在建筑物拆除过程中被分离出来。建筑用钢材的回收率接近 100%。
- 大约 20% 的玻璃成分可以回收利用。

生物基材料

生物基循环材料可用作建筑构件例如：

- 用于结构、立面和室内的木材
- 用于结构和立面的陶瓷
- 用于保温的秸秆
- 用于结构、外墙和保温的麻

- 用于保温的纤维素



图 26 生物基建筑材料的研究：苏黎世联邦理工学院-新加坡未来城市实验室的“菌丝复合材料”项目；图片来源：苏黎世联邦理工学院-新加坡未来城市实验室

6.3 建筑材料中的碳储存

建筑材料	规格	对碳排放的影响
混凝土，含生物炭	掺有生物炭的普通混凝土	生物炭的生产是碳的结合；补充到混凝土中的生物炭的数量与生产混凝土的排放数量一致
混凝土，碳化	回收颗粒的碳化	为了将拆除废料变成碳汇，一家瑞士公司开发了一种解决方案，通过捕捉拆除混凝土中的二氧化碳并使其矿化。这一过程是混凝土正常回收过程的附加过程。只要建筑材料被重新使用，二氧化碳就会被储存起来。
生物基材料（木材，秸秆，大麻，纤维素）	含碳有机资源	利用有机资源生产建筑材料，只要还在使用，就会储存碳

在混凝土中储存碳的现有工艺：

掺入生物基



图 27 在混凝土中添加生物炭；来源：Beyond Zero, Empa



图 28 将回收拆迁废物与碳捕获相结合；来源：neustark

7. 评估中的挑战与关键点



图 29 沃州环境管理局总部中庭的粘土岩墙，作为矿物建筑材料的气候友好型替代品。
图片来源：Baud, Früh architects

7.1 碳排放核算

在评估建筑物全生命周期的碳排放时，必须考虑施工阶段的数据。瑞士建筑和规划行业使用标准化的材料和能源流模型，以及可免费获取的建筑材料、建筑技术（暖通空调）、能源和运输的生命周期评估数据，这些数据由国家机构 KBOB 负责更新。SIA 提供了进一步的评估依据，即 SIA 2032 和 SIA 2031 技术规范。

生命周期评估

全生命周期碳排放即对产品、组件和建筑物的各个阶段进行评估和计算：

- 供应链：根据技术规范 SIA 2032
- 制造/处理：根据技术规范 SIA 2032
- 使用/运行：根据技术规范 SIA 2031
- 拆除：根据技术规范 SIA 2032

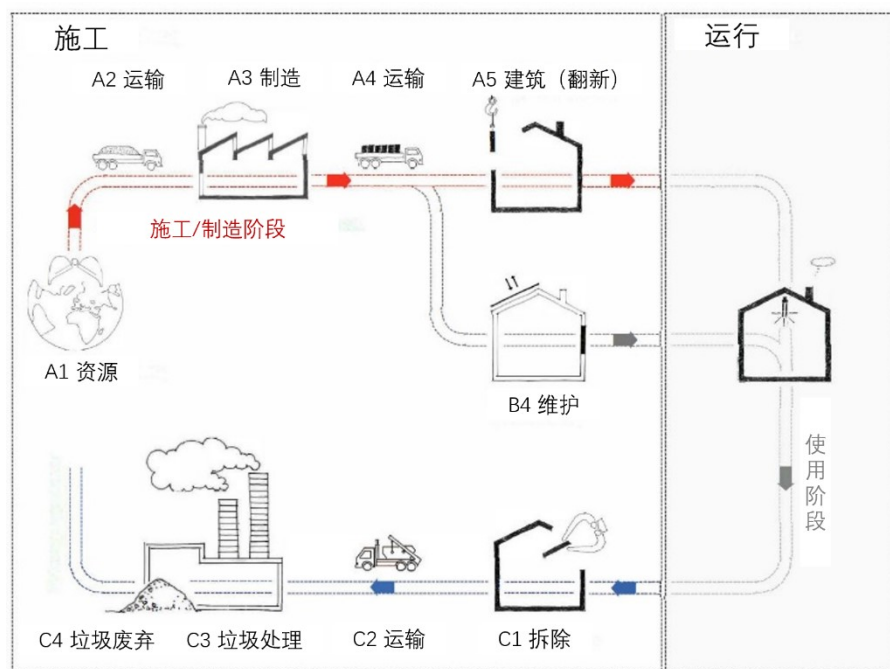


图 30 根据技术规范 SIA 2032 (白色部分) 和 SIA 2031 (灰色部分) 定义的建筑物生命周期评估示意图; 图片来源: SIA

为建筑师和规划师提供的工具，既定的国家或国际标准

瑞士采取的标准:

- KBOB 和 SIA 提供的瑞士建筑行业生命周期评估和生态数据来源，欧洲标准
- 环境产品声明 (建筑产品): EN 15804 (欧洲/国际), 国际标准
- 产品/建筑的生命周期评估 (LCA): ISO 14040
- 产品碳足迹: ISO 14067

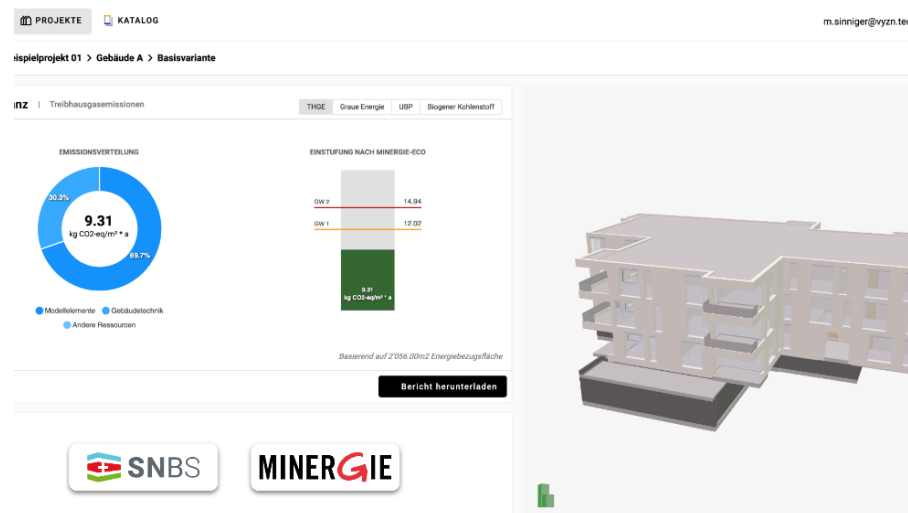


图 31 将建筑物生命周期评估与 BIM 应用相结合的软件工具; 图片来源: vyzn.ch

如何实现负排放

关于建筑行业负排放定义的讨论一直在进行。例如，经常出现的一个问题是难以避免的碳排放（水泥或砖的生产）能否通过现场能源生产来补偿？

最近的 SOE 研究给出了答案：太阳能的就地生产作为负排放技术是没有价值的，因为碳排放发生在建筑生命周期的不同阶段，而不是来自供应链的排放。

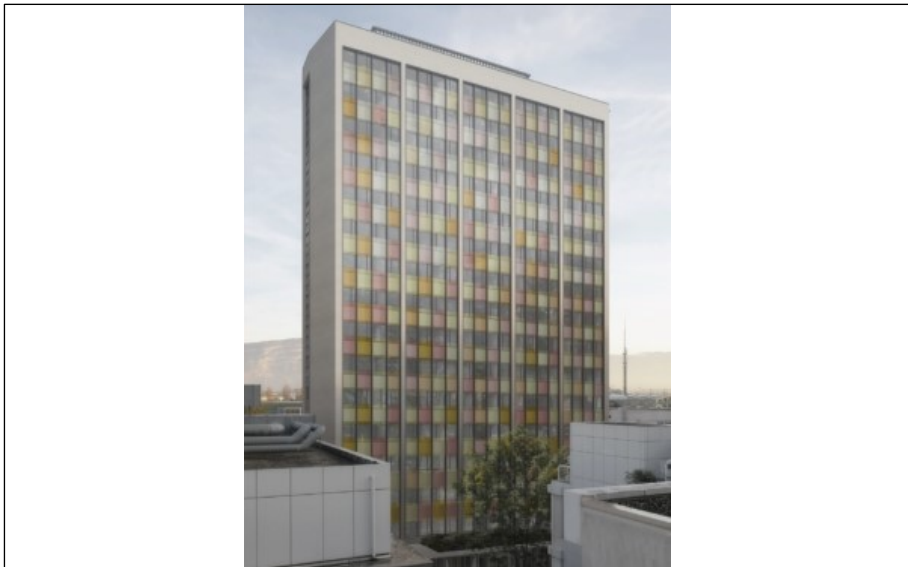


图 32 日内瓦一栋集成了光伏系统的翻新办公楼的立面；图片来源：Baud, Fröh architects

另外，碳结合材料是迈向气候正向建筑的第一步吗？特定的方法表明：生物基材料或储存碳的材料用于建筑材料时不能被计为负排放，因为可储存碳的时限缺少法律约束。

7.2 关键点

- 建筑碳排放：
碳排放贯穿于建筑全生命周期的各个阶段。上下游环节（如建材生产、施工与拆除）所产生的碳排放，往往与运行阶段的排放同样重要，甚至在高能效建筑中占比更高。
- 全面减碳战略：
为了实现有效的碳减排，建筑师与土木工程师需在日常实践中贯彻资源循环与高效利用的理念，将减碳目标贯穿于设计、选材与结构优化的全过程。

- 材料消耗：
生物基建筑材料可替代碳足迹较高的传统材料，在显著降低建筑整体碳排放的同时，还具备碳储存能力，有潜力为实现负排放目标贡献积极作用。
- 市场标准，绿色建筑认证和政府规范：
在欧洲，多项政策和标准已对隐含碳排放作出限制。在瑞士，政府、专业协会及房地产市场相关方正协同推动明确的碳排放目标值纳入法规和实践体系。
- 评估与监管：
瑞士的经验表明，绿色建筑认证体系与基于生命周期评估（LCA）的国家标准是推动建筑行业迈向气候友好型转型的重要工具。



让我们共同打造气候中和的未来
Building a climate-neutral future together

中瑞零碳建筑项目是由瑞士联邦发展合作署和中华人民共和国住房和城乡建设部共同发起并在其全面指导与支持下，由瑞士 intep-skat 联合团队与中国建筑科学研究院共同实施完成的中瑞国家级合作项目。



中华人民共和国
住房和城乡建设部

