



# EnhancES

## 工具箱

建模 制图 评估 提升

# 绿色基础设施规划中的生态系统服务

## IMECOGIP

Implementation of the Ecosystem services Concept in Green Infrastructure Planning to strengthen the resilience of the Metropolis Ruhr and Chinese megacities

生态系统服务概念在德国鲁尔与中国大都市区韧性发展模式下的绿色基础设施规划应用

IMECOGIP是由德国联邦教育与研究部 (BMBF) 资助的项目, 并属于面向应用的“城市地区可持续发展” (SURE, Sustainable Development in Urban Regions) 优先资助框架中的一部分。

更多信息请访问: <https://sustainable-urban-regions.org/imecogip>

框 1 生态系统服务	工具箱指标		
调节服务	固碳	... (或净初级生产力) 模型评估生物群落从大气中吸收的 CO <sub>2</sub> (单位: g C m <sup>-2</sup> a <sup>-1</sup> ) (气候缓解) (2.1.1.2)	Toolbox α
	储碳	生物群落类型的生物量所储存的碳量 (单位: g C m <sup>-2</sup> )	Toolbox α
	气温调节	... 模拟用户定义的高温热浪期间城市绿色空间 (土壤-生物群落单元) 相对于不透水表面的降温强度 (单位: 开尔文或 KW·h) (2.2.6.2)	Toolbox α
	污染物处理 - PM <sub>10</sub>	... 计算植被表面吸收的直径为 10μm 的颗粒物量 (单位: kg ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> ) (2.1.1.2)	Toolbox α
	洪涝调控	... 计算单次暴雨事件下空间单元排水量 (单位: m <sup>3</sup> ) 的能力 (2.2.2.1)	Toolbox α
	视觉筛选	... 计算人视范围内视觉品质不佳物体区域占总区域面积的百分比 (2.1.2.3)	Toolbox α
	保护育种群和栖息地	... 估算不同类型生物群落单元维持鸟类保育种群的能力 (按顺序排列的指标物种)	Toolbox γ
	授粉	... 模拟生物群落支持授粉的能力 (按顺序排列的指标物种)	Toolbox γ
	基流调节	... 评估土壤-生物群落单元的年地下水补给量对河流基流维持的贡献度 (单位: mm a <sup>-1</sup> ) (2.2.1.3; 相当于 4.2.2.1 和 4.2.2.3)	
文化服务	在自然环境中进行物理性互动的恢复效益	... 评估划定的综合区域, 如公园, 其融合了生物群落和技术基础设施的特点, 通过与自然积极或沉浸式互动, 促进康复或享受并增进健康 (按顺序排列) (3.1.1.1)	Toolbox β
	在自然环境中的被动互动的恢复效益	... 评估划定的综合区域, 如公园, 其融合了生物群落和技术基础设施的特点, 通过观察或与自然被动互动, 促进康复或享受并增进健康 (按顺序排列) (3.1.1.2)	Toolbox β
	美学体验	... 评估划定的综合区域, 如公园, 其融合了生物群落和技术基础设施的特点, 提供美学体验 (按顺序排列) (3.1.1.4)	Toolbox β
供给服务	地下水	... 评估每年土壤-生物群落单元中可饮用或非饮用目的的地下水补给量 (单位: mm a <sup>-1</sup> ) (4.2.2.1 和 4.2.2.3)	Toolbox γ
	供营养用途的植物栽培	... 评估场地 (地形、土壤、气候、自然灾害) 是否能够多次并可持续地种植可食用植物 (按顺序排列) (1.1.1.1)	Toolbox γ

## ■ 工具箱中包含了哪些生态系统服务?

红色圆圈表示已完成开发并应用的生态系统服务类型，其他生态系统服务类型正在开发中（参见图 1 的图例和框 1）。

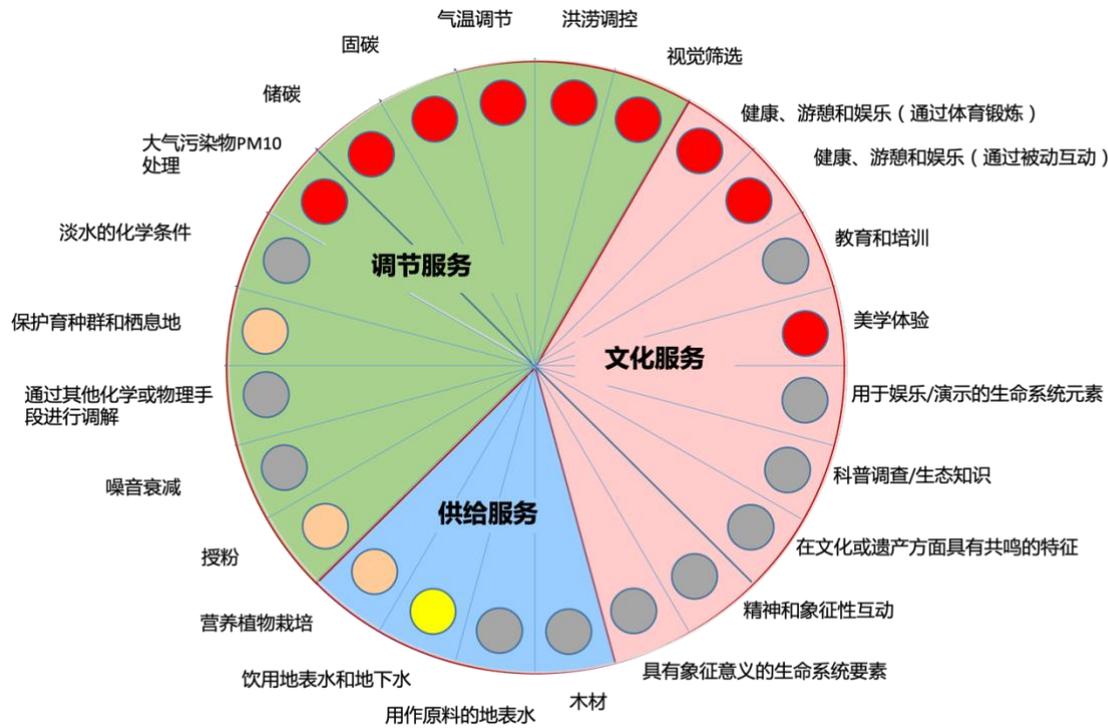


图 1: 工具箱已 (将) 包含的生态系统服务类型

供给服务

调节服务

文化服务



## ■ 工具箱是如何运行的？

**输入：**工具箱基于用户提供的地理数据（shapefile 格式）来模拟生态系统服务，这涵盖了城市生态系统的重要组成部分（图 2）。

**运行：**同时，工具箱还需要部分非空间参数，这些参数可以是工具箱提供的预设值，也可以是用户在运行模型之前基于研究区域自行输入参数值。

**输出：**工具箱的运行结果包括地图和表格两种形式。一般而言，用户无需深入了解工具箱的核心算法部分（如图 2 中所示的黄色阴影区域）。但在运行模型之前，建议用户通过查阅用户指南等途径，对工具箱进行初步了解，评估与判断此工具箱是否适合解决目前所面临的问题。

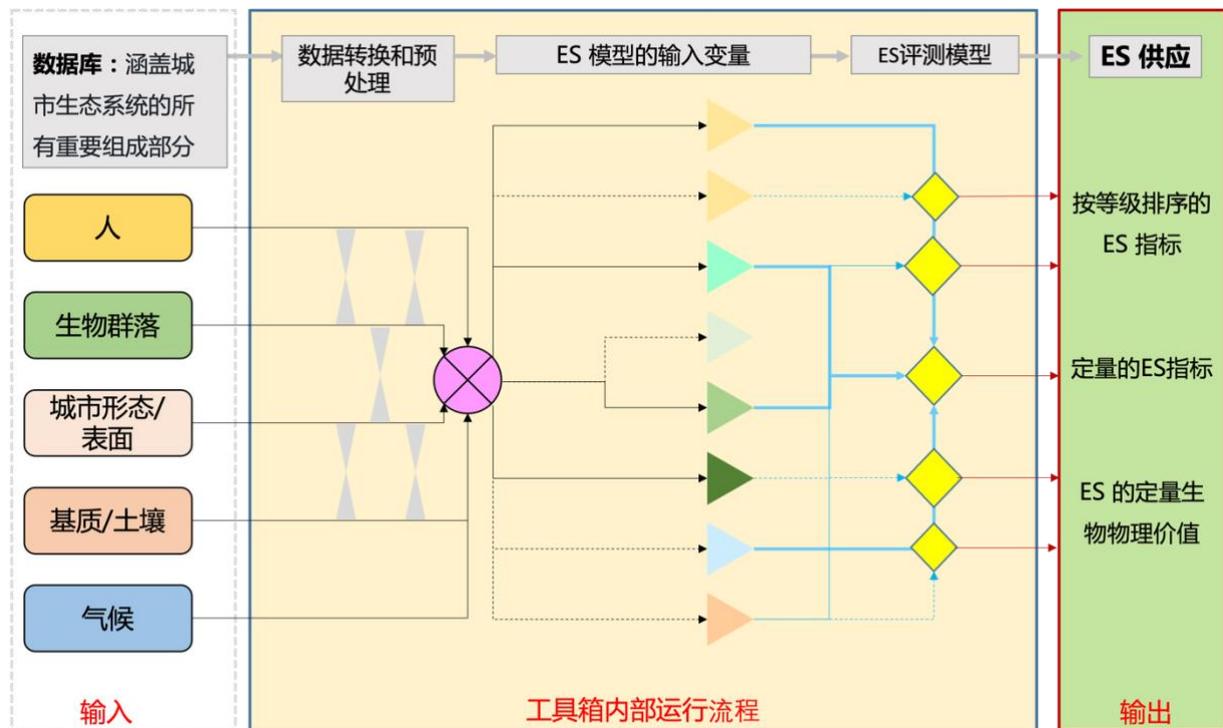


图 2：工具箱的运行原理



工具箱通过生物物理值的方式呈现供给和调节服务的评价结果，例如以千克/（公顷·年）（ $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ ）为单位（表 1）；而针对文化服务，则以等级形式进行划分。用户可以通过可视化的结果，了解研究区域的特定生态系统服务能力（图 4 和 5）。同时，工具箱计算得到的综合相对数值可以反映每种生态系统服务的整体表现情况（图 5）。

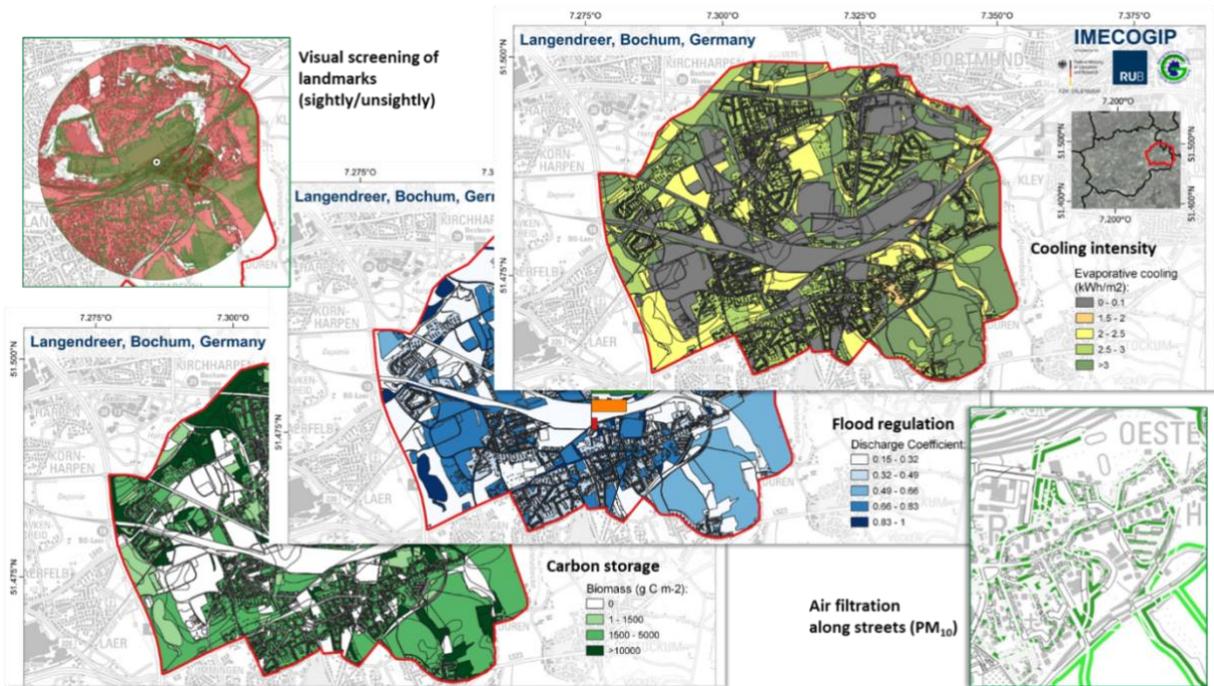


图 3: 可视化地图成果

表 1: 表格成果（示例）

<b>ES: 固碳</b> <b>(<math>\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}</math>)</b>	
多边形的数量	7244
最小值	0.0
最大值	2915.0
取值区间	2915.0
算数平均数	72.0
中位数	0.0



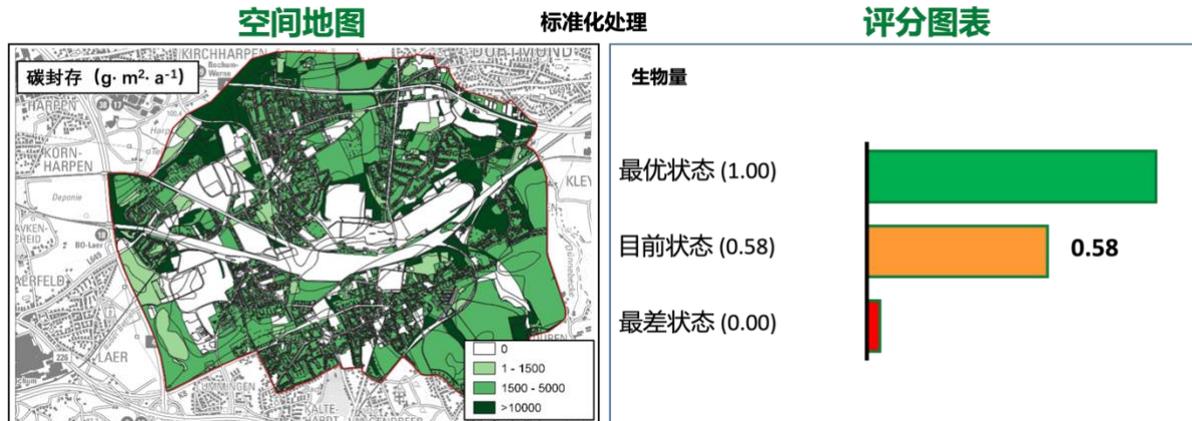
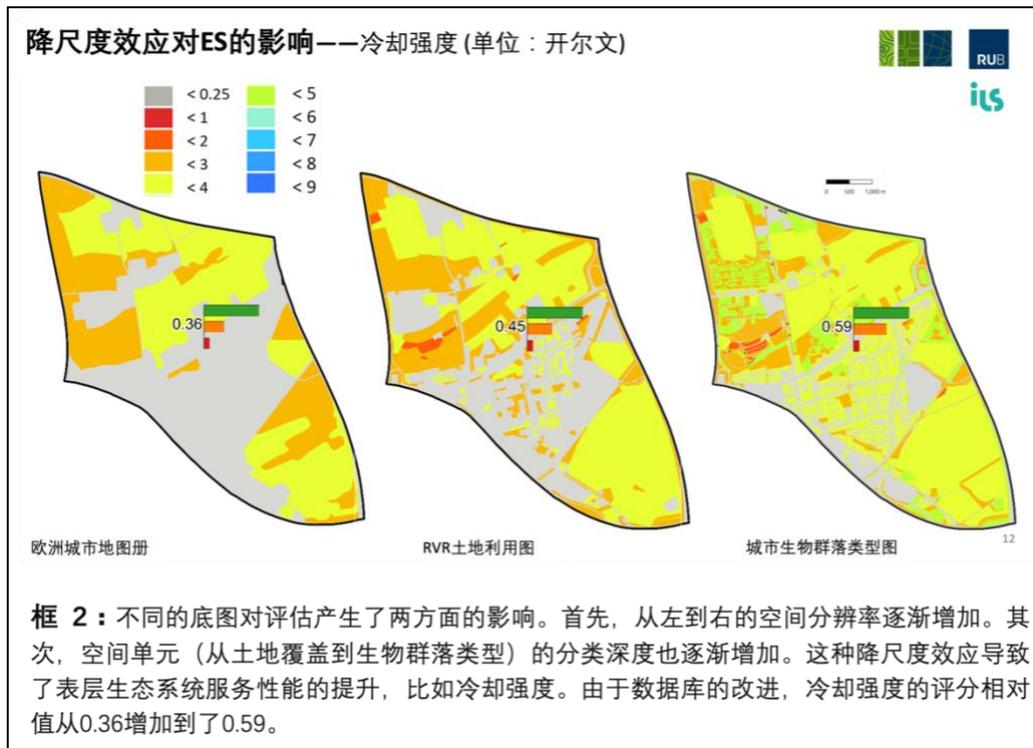


图 4: 从地图到对整个区域生态系统服务绩效的标准化评分

表 1: IMECOGIP 工具箱运行需要的输入变量 (必要的和可选的)

一级变量 (预设值; 可能会被用户调整或更改)	二级变量 (必须输入值; 内部归属、计算, 或可选择用户输入的; 仅供内部计算)	PM <sub>10</sub> 衰减	冷却强度	碳封存	碳储存	水流调节	视觉筛选	主动恢复	被动恢复	美学体验
<b>植被类型/土地覆盖类型</b>										
土地利用/土地覆盖分类或城市生物群落类型		x	x	x	x	x	x	x	x	x
	冠层高度 (< 2 米/> 2 米)	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	沉降速率 (Vd)	x								
	叶面积指数 (m/m)	x		x	x					
建筑物轮廓		x	x	x	x	x	x	x	x	x
	作物系数 (-)		x							
	径流系数 (-)					x				
公园边界								x	x	x
	公园马赛克边界周长							x	x	x
	公园及其缓冲区的景观指标							x	x	x
数字地形模型和数字地表模型							x			
<b>土壤</b>										
土壤单位		x	x	x	x	x	x	x	x	x
	可用水容量 (AWC; 毫米)		x							
	初始土壤水分 (AWC的百分比)		x							
	地下水的存在 (是/否)		x							
<b>气候</b>										
热浪期间平均日间环境温度 (°C)			x							
热浪期间的草地参考蒸散发 (ET <sub>0</sub> ; 毫米)			x							
热浪持续时间 (天数)			x							
每日降水量 (毫米) (用于PM <sub>10</sub> 计算的时期)		x								
每日PM <sub>10</sub> 浓度 (µg/m <sup>3</sup> ) (同上述时期)		x								

一般而言, 工具箱运行结果的准确性取决于三大方面: 输入变量的具体性、选择的评估模型以及输入数据的空间差异。许多国家都推出了土地利用/覆盖类型或生物群落类型的分类准则。在默认数据集中, 工具箱提供了勘察级别的欧盟城市地图册、RVR (鲁尔区域地区管理机构) 的土地利用/覆盖类型, 以及用于分析小规模详细级别的城市生物群落类型。由于工具箱是一个开放的系统, 用户还可以通过将自己的土地利用/覆盖或生物群落类型转换为默认数据集, 或者定制自己的数据库来满足研究区域的实际情况。在第二种情况下, 用户必须提供必要参数来模拟特定的生态系统服务, 例如在二级变量中出现的叶面积指数、径流系数等 (表 1)。



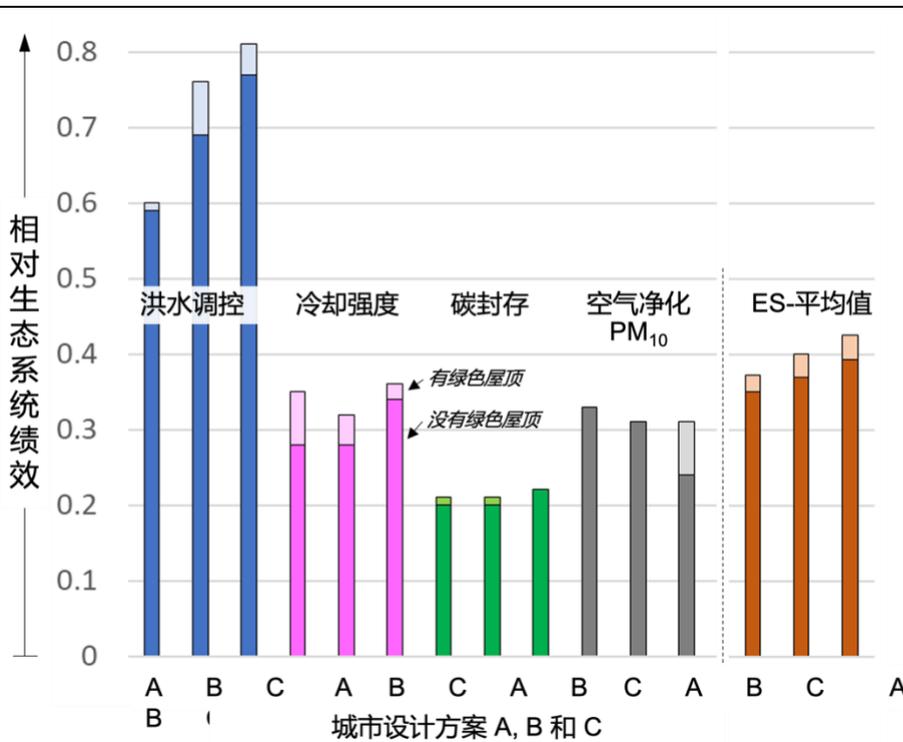
二级变量是工具箱自动分配给预设的土地利用/覆盖类别或生境类型的变量，或者工具箱根据主要变量进行内部计算的变量。

框 2 中的“城市生物群落类型图”就是基于“土壤单元”中的二级变量进行计算与绘制。





**框 3: 学校操场项目**--市政府希望使用工具箱评估比较校园操场景观改造效果。左边是校园改造前平面图, 右边是校园景观改造后平面图。可以看出改造后的校园景观绿色基础设施 (深绿色图块) 增加, 并且校园整体景观布局产生变化。因此, 校园空气过滤量在改造后将增加至150千克/ (公顷·年)。通过使用工具箱, 可有效量化不同规划/设计方案的生态系统服务差异, 以及其提升与改善程度。

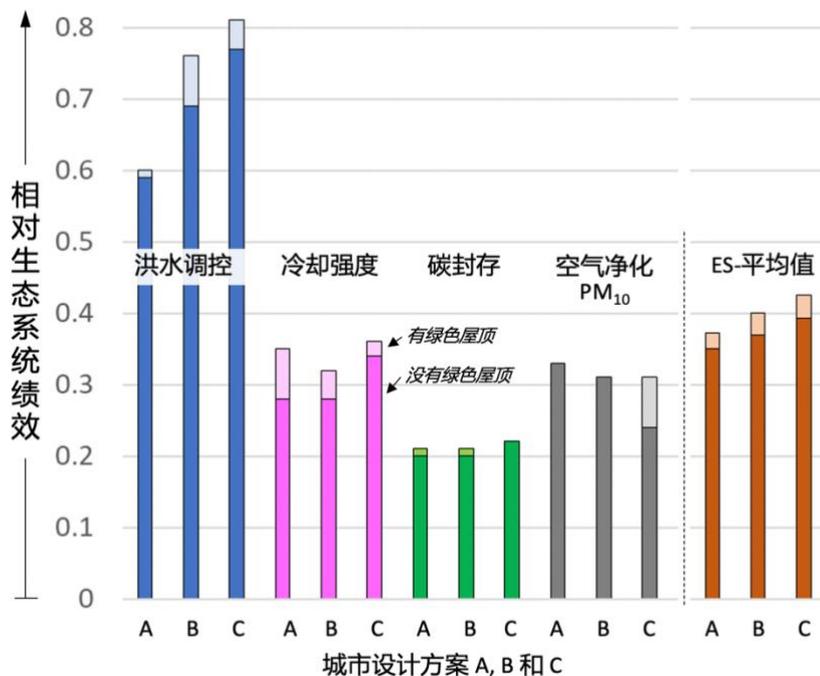


**框 4:**  
不同城市设计方案的生态系统服务能力

在新区城市设计竞赛的背景下, 我们比较了三个不同的方案: A、B、C。哪一个方案能够提供最佳的生态系统服务能力? 左边柱状图展示了三个方案在洪水调控、冷却强度、碳封存和空气净化四项服务的分项得分以及综合平均值。可以看出, 绿色屋顶在一定程度上提高了区域的生态系统服务水平, 但显然这一差异并不明显。由于方案C的平均得分最高, 因此其被选定为制定约束性土地利用规划的基础。

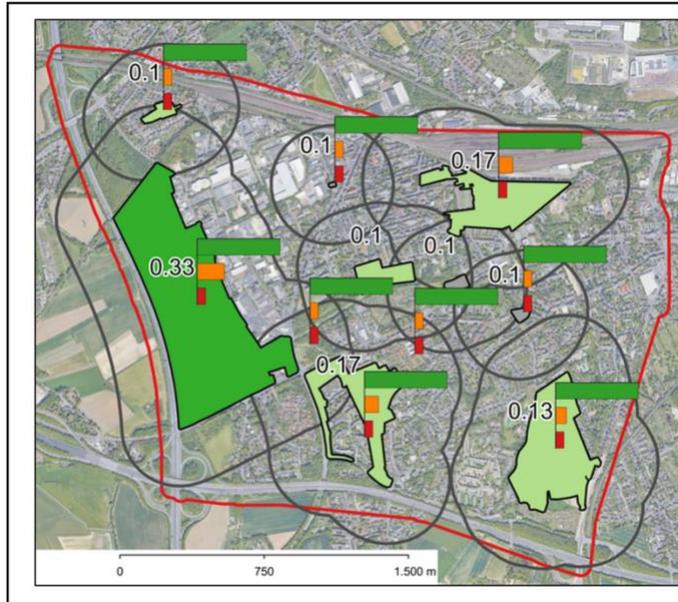


**框 3: 学校操场项目**--市政府希望使用工具箱评估比较校园操场景观改造效果。左边是校园改造前平面图，右边是校园景观改造后平面图。可以看出改造后的校园景观绿色基础设施（深绿色图块）增加，并且校园整体景观布局产生变化。因此，校园空气过滤量在改造后将增加至150千克/（公顷·年）。通过使用工具箱，可有效量化不同规划/设计方案的生态系统服务差异，以及其提升与改善程度。



**框 4:**  
不同城市设计方案的生态系统服务能力

在新区城市设计竞赛的背景下，我们比较了三个不同的方案：A、B、C。哪一个方案能够提供最佳的生态系统服务能力？左边柱状图展示了三个方案在洪水调控、冷却强度、碳封存和空气净化四项服务的分项得分以及综合平均值。可以看出，绿色屋顶在一定程度上提高了区域的生态系统服务水平，但显然这一差异并不明显。由于方案C的平均得分最高，因此其被选定为制定约束性土地利用规划的基础。



## 框 5: 公园中的文化服务

公园在绿色和技术基础设施方面以及潜在的使用者数量上存在差异。

在这里，我们评估了各个公园为人们创造与自然进行身体互动的机会，从而提供恢复的相对表现，以及它们在这方面的表现如何。橙色的柱形图和数字表示与德国博鲁姆和格尔森基兴市得分最高的公园相比的评分。

## ■ 应用领域

用户可以在多个领域充分利用工具箱（参考框 3-5）：

- 对研究区域进行筛查并绘制生态系统服务供给图纸；分析其优势和劣势；评估空间不平等和不公平现象；支持行动方案决策，以提升生态系统服务能力
- 监测和记录生态系统服务供给的时间变化
- 在自然资源管理和城市规划领域，研究者可进行不同规划方案的比较，并确定在何处以及如何进行优化，以实现自然环境对市民福祉的最大化贡献
- 制定符合特定城市或地区背景下的生态系统服务标准，以满足当地环境特征和社会需求的要求
- 扩展可持续性指标的选择范围，以促进自然保护与发展要求的相辅相成
- 通过对知情公民透明化生态系统服务来增强其参与过程
- 借助考虑生态系统服务的方法，对自然资产的存量增减进行补充和调整
- 依据生态系统服务的理念规划基于自然的解决方案
- 通过强调生态系统服务的效益来支撑资金申请



## ■ 与其他生态系统服务评估工具比较

- 开源的 GIS 工作环境
- 工具箱中的一些工具还考虑了土壤、水和植被作为一个综合体之间的互动
- 已设置好的土地利用/生物群落类型（针对德国和中国）
- 允许用户自行修改
  - 用户可以基于不同的生物群落类型或者土地利用等级进行模拟
  - 用户可以补充更为详细的土壤信息
- 全球均可使用
- 可适应不同空间尺度的项目
- 快速运行和处理
- 提供了用户指南作为参考



### 联系：

Prof. Dr. Harald Zepp  
应用物理地理（Applied Physical Geography）  
地理学研究所（Institute of Geography）  
波鸿鲁尔大学（Ruhr-University Bochum）  
Universitätsstr. 150  
44780 Bochum

[imecogip@rub.de](mailto:imecogip@rub.de)

