

激光雷达WindCube Nacelle 产品性能和应用介绍

梁志 | 应用经理 (WindCube Nacelle)
维萨拉（北京）测量技术有限公司
Email: zhi.liang@vaisala.com

VAISALA

Vaisala in numbers

维萨拉数据



Operating all over the world

全球运营分布



VAISALA

Take action, find answers and remove doubts with our measurement solutions

通过我们的测量解决方案采取行动、找到答案、消除疑虑



Weather and Environment 气象与环境监测

Serves selected environmental and weather-dependent markets where accurate, real-time, uninterrupted, and reliable information is essential to run efficient operations and make informed decisions.

服务于选定的环境和气象相关市场，在这些市场中，准确、实时、不间断和可靠的信息对于高效运营和做出明智的决策至关重要。



Industrial Measurements 工业测量

Provides accurate and reliable measurement instruments and systems to optimize processes, improve efficiency and productivity, minimize energy consumption, and ensure product quality.

提供准确可靠的测量仪器和系统，以优化流程，提高效率 and 生产力，最大限度地减少能耗，并确保产品质量。



综合解决方案: 产品广泛、技术先进



气象探空系统



能见度、天气现象传感器



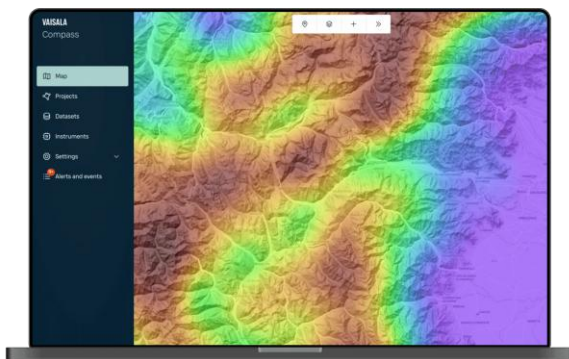
气象观测系统



激光测风雷达



气象雷达



数据显示、分析软件

产品类别

- 大气垂直遥感: 云高仪, 激光雷达
- 能见度、天气现象传感器
- 闪电传感器
- 道路和地面状况传感器
- 空气质量传感器
- 多要素传感器(风, 温, 湿, 压)
- 气象观测系统
- 激光测风雷达
- 气象雷达
- 无线电探空仪及探空系统
- 软件解决方案

近百年的研发与专注： 气象要素的精确测量、 产品性能的不断提高

好奇创新者的故事

- 1931年，维尔霍·维萨拉教授 (Vilho Väisälä) 改进了无线电探空仪，并对其质量进行了持续改进。
- 1936年，他完善了该发明创新，创建了维萨拉公司，将首批产品出售给了麻省理工学院。
- 一个全球科技公司从此建立，并开始了持续的发展。

VAISALA



*Image enhanced and
colored with AI*

“好奇号”：外面有人吗？ 是的，我们在。

两颗星球上的气象要素探测

美国宇航局的火星探测器“好奇号”和“毅力号”配备了维萨拉的温度和压力传感器。

太空严酷条件对探测技术提出了严格的要求，需要最可靠的技术，确保其无需维修，并可以持续测量。

同样的，该技术也应用于地球上众多工业和环境的严苛条件和应用。

VAISALA

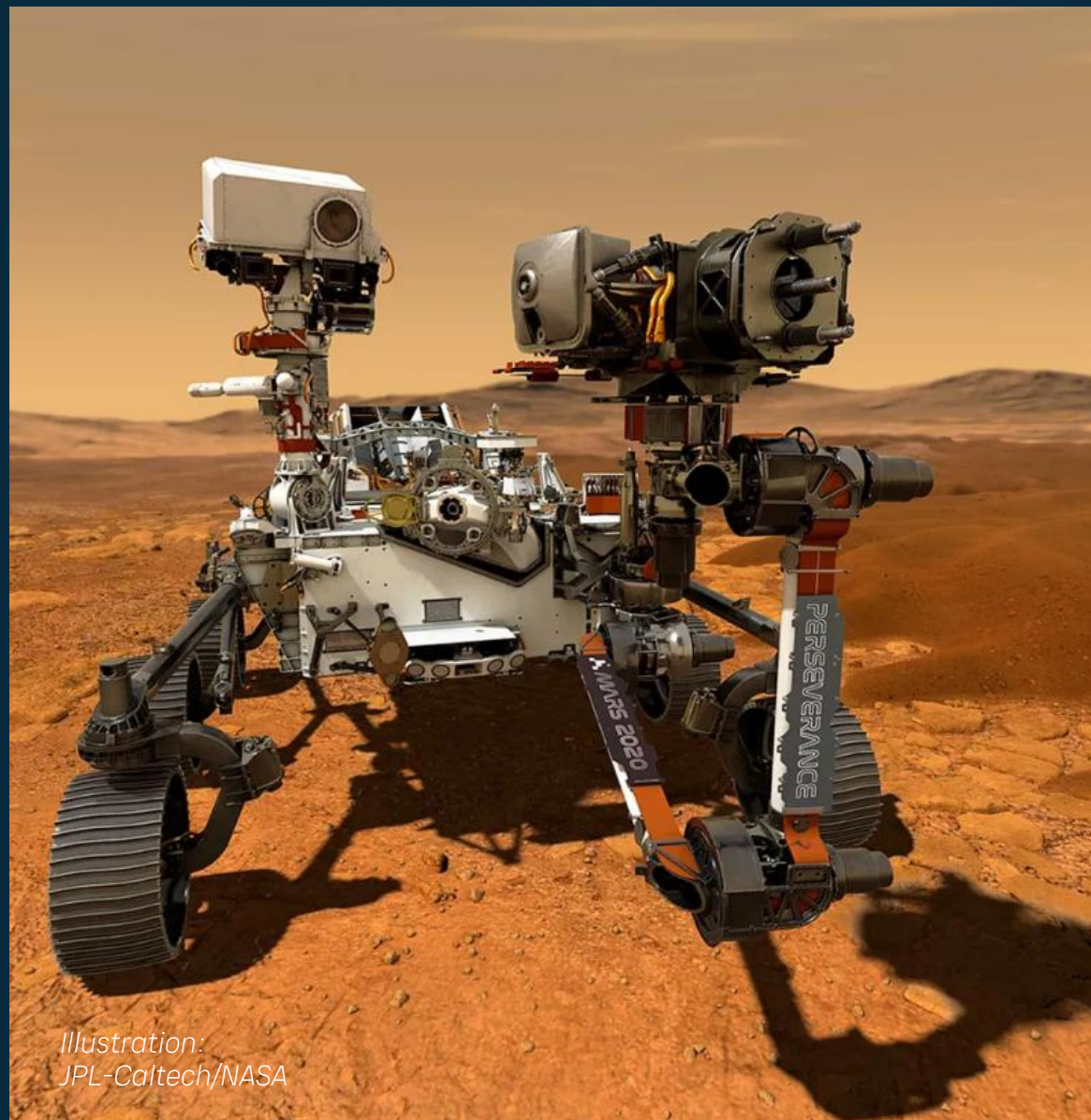


Illustration:
JPL-Caltech/NASA

风电行业内，最广泛、最灵活的激光雷达

仪器、设备



WindCube®



WindCube®
Offshore



WindCube®
Scan



WindCube®
Nacelle

- 垂直风廓光雷达
- 用于可靠的风资源与电量评估
- 符合IEC 标准的风机功率曲线测试

- WindCube（海上版）
- 适用于恶劣海上条件
- 可用作近岸固定装置
- 也可安装在漂浮系统、浮标上（已经经过验证）

- 扫描激光雷达（远距、3D）
- 用于海上风资源评估
- 陆上和海上研发研究

- 机舱激光雷达
- IEC 标准的功率曲线测试，适用于陆上和海上
- 应用于风机控制方向：可降低负荷，提升发电量

软件、分析



WindCube®
Insights



Compass

- Fleet软件：基于网页的单台、多台的设备管理平台
- 数据分析：便捷、透明，满足IEC标准的功率曲线

- 基于网络平台：风电/太阳能单台、多台设备管理
- 天气预测和历史数据，可用于项目优化
- 适用于WindCube、AWS（气象站）

激光雷达的双工厂：巴黎、上海

巴黎工厂 (Saclay)



上海工厂 (闵行区)



出厂前，设备的一致性检测

巴黎工厂 (Saclay)



上海工厂（闵行区）



WindCube Nacelle: 准确测量风机功率曲线

- 型号：50-450 米、50-700 米，测量范围灵活
- 适合：陆上、海上
- 距离：同时测量多个测量位置（用户可设置）
- 广泛被整机厂商、开发商使用
- 已经用于风机供货协议
- 首个按照 IEC 61400-50-3 标准的机舱激光雷达
- 全球 500 多次实地部署和完整实验室测试
- 分析软件 WindCube Insights，用于数据分析，生成报告

VAISALA



WindCube Nacelle: 产品的持续迭代过程

2011年



Wind Iris (两光束)
第一代研发型产品

2015年



Wind Iris (四光束)
增加了垂直风场的测量

2020年



WindCube Nacelle(远距)
满足当前大型风机的需要

**2013: 获得丹
麦示范项目
EUDP支持**

DTU, Siemens, Orsted,
Vaisala; definition of 2-
beam nacelle lidar
calibration and power curve
measurement procedures

**丹麦技术大学
DTU主导的
UniTTe项目**

Definition of generic
procedures for wind turbine
power curve measurements
using new generation of NML

**国际电工委员
IEC 50-3**

Bringing our expertise
to the IEC 61400-50-3
working group

**与行业内多个
领军企业开展
试点项目**

DNV, GE, Engie, UL,
SGRE, and more

现在，风电行业更
加倾向于采用机舱
式激光雷达对风机
发电性能进行测试

WindCube Nacelle PPT: 标准版、远距版



WindCube Nacelle（标准版）

测量范围：50~450 米量程，10 个测量位置

适应陆上风机的测量范围要求



WindCube Nacelle（远距版）

测量范围：50~700 米量程，20 个测量位置

适应海上大型风机的测量范围要求

采用WindCube Nacelle的风机功率测试： 已经较为常规，较高的性价比

海上风电场

- 如今，海上风电场的开发商、风机厂商大多会将机舱激光雷达的功率曲线测试纳入风机采购协议 TSAs(Turbine Supply Agreements)

陆上风电场

- 比测风塔更为方便和安全
- 新发布的IEC 标准引导和促进了相关测试的开展
- 成本优势：测风塔只能测量单个风机，激光雷达可以重复使用，实现多种风机的功率曲线测试
- 可选的技术咨询、售后服务，可支持测试项目的成功开展和顺利完成。



主要技术参数

- 测量范围：从50米到 450/700米
- 测量位置：10/20 个（用户自定义）
- 所有距离同时测量
- 激光束：4 束
- 测量频率：1Hz光束交换频率
- 采用技术：脉冲激光雷达





主要测量功能

可对现有及未来的风机机组进行**2.5D**位置处的功率曲线测试（**D**：风机叶轮直径）

高精度，低不确定性，符合IEC标准

关键的输出数据：

- 风速和风向（轮毂高度）
- 风速切变
- 风向切变
- 湍流强度TI
- 叶轮等效风速REWS
- 气压、温度、湿度、降雨、雹（可装的PTH传感器）

业务化部署

500 多次实地部署的经验 + 完整的实验室测试

- 经证实的可靠性
- 运行连续性高
- 3 年标准保修期

光学部分和控制部分，便于安装

- 便于安装在风机机舱上：体积较小、重量较轻
- 完整的安装和校准程序
- 对风机的工程集成、相关技术支持

维护周期

- 低运营成本（与前一版本相比，运营成本降低 35%）



符合IEC 61400-50-3标准的机舱激光雷达

- 国际电工委员会IEC， 2022 年 1 月针对机舱激光雷达的风机功率特性测试，发布了新IEC 50-3 标准
- 不同型号的机舱激光雷达均须经认可的第三方进行分级测试
- WindCube Nacelle， 已通过了DNV的分级测试



VAISALA

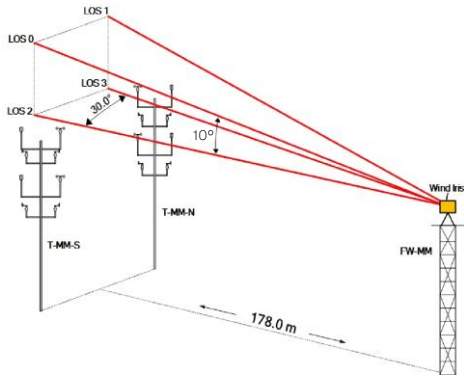


WindCube Nacelle的校准



Vaisala“黄金”验证： Golden Verification使用于每一台设备

- 在整个制造过程中，通过大气环境的校准
- 在大气环境的校准过程中，与“黄金”激光雷达进行验证
- 出具性能验证证书



第三方校准: 可选服务

- WindCube Nacelle完全符合激光雷达验证流程，并由独立专家进行定期测试
- 针对激光束（LOS）进行标定：“白盒”标定
 - LOS 风速校准
 - 不确定性评估（IEC-50-3）
 - 在风场重建中的LOS 不确定性的扩展
- 时间长度
 - 取决于试验场地，通常为8至16 周

WindCube Nacelle的验证： 西门子的案例

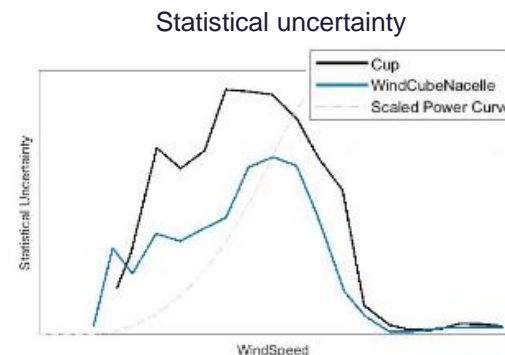
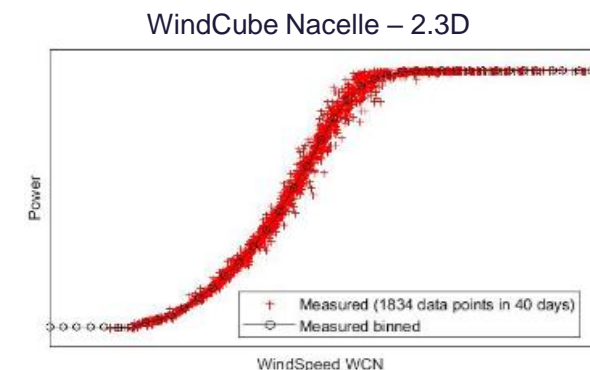
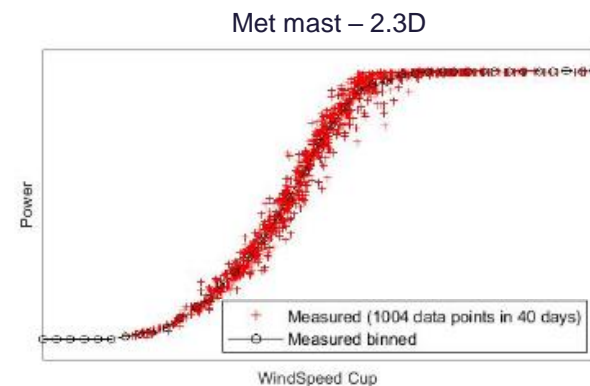
西门子歌美飒SGRE比较了IEC测风塔和WindCube Nacelle功率曲线

WindCube Nacelle的主要优势：

- 风向扇区，更广泛：
 - 相同时间段内数据数量更多，具有更好的一致性
 - 更快完成功率曲线
- 随机舱偏航，始终与风向保持一致，减少统计不确定性
- 可以快速部署，开展测试工作
- 降低了测试工作开展的费用和设备费用
- 适用于不同叶轮直径的风机

“The WCN Long-Range is validated and accepted by SGRE for power curve measurements on current and future wind turbines for offshore and onshore simple terrain”. (WCN Long-Range 已通过 SGRE 的验证和认可，可用于当前和未来海上和陆上简单地形风力涡轮机的功率曲线测量)

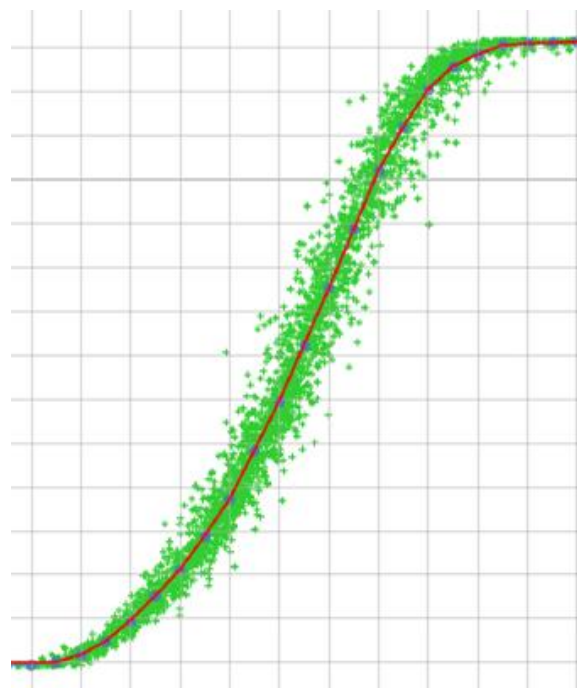
“The WCN Long-Range is specified as an eligible measurement device in warranty contracts between SGRE and its customers”. (在 SGRE 与客户签订的保修合同中，WCN Long-Range 被指定为合格的测量设备)



DNV、GE、法国燃气的案例



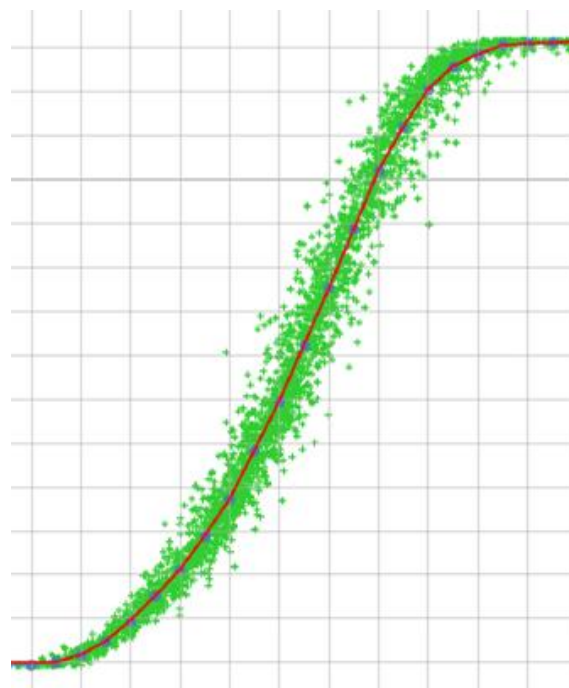
GE Renewable Energy



测风塔

AEP数值：基准

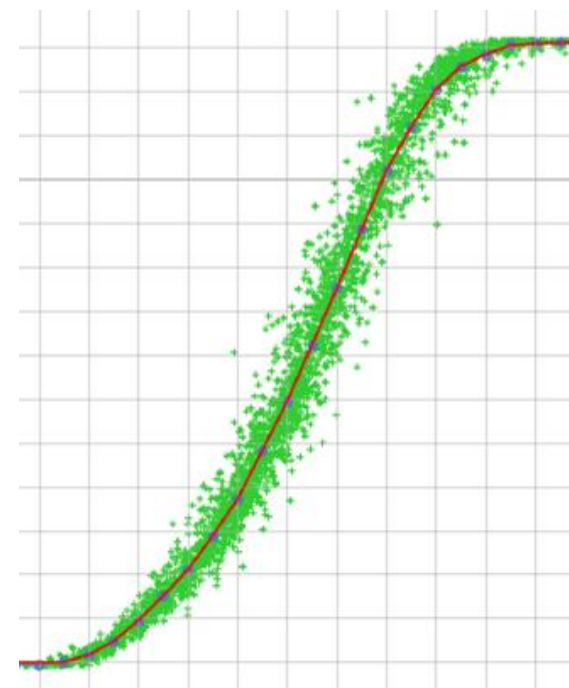
不确定度：3.6%



WindCube
(地基式激光雷达)

AEP数值：基准的100.0%

不确定度：3.7%



WindCube Nacelle
(机舱式激光雷达)

AEP数值：基准的100.0%

不确定度：2.9%

红线：
基于测风塔的风速区间的功率曲线，是数据分析中的年发电量AEP的评估基准线

Reference:
bin averaged met
mast power curve
(red line)

Assumption:
1% terrain uncertainty
for NML

UL案例：测风塔、机舱激光雷达、地基激光雷达

- UL和法国电力EDF对 IEC测风塔、WindCube地基式激光雷达、WindCube Nacelle机舱式激光雷达的风速进行了比较，同时评估了对AEP的影响。
- 结果表明，三者之间的相关性非常好。



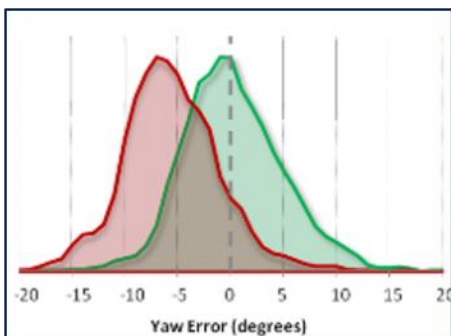
Table 1: Campaign Average Wind Speed Comparison (density corrected)	Met Tower (3.8 RD)	Profiling LiDAR (3.8 RD)	Nacelle LiDAR (1.5 RD)	Nacelle LiDAR (2.5 RD)	Nacelle Cup
Average Speed (m/s)	9.42	9.49	9.40	9.43	9.82
Diff. from Met Tower (m/s)		0.07	-0.02	0.01	0.39
Diff. from Met Tower (%)		0.7	-0.2	0.1	4.2

Table 3: Campaign AEP Comparison	Met Tower AEP [MWh]	Measured AEP [MWh]	AEP Difference [%]
Met Tower	10,557	10,557	-
Profiling LiDAR	10,557	10,402	98.5
Nacelle LiDAR 1.5RD	10,557	10,688	101.2
Nacelle LiDAR 2.5RD	10,557	10,572	100.1
Nacelle Cup	10,557	10,134	96.0

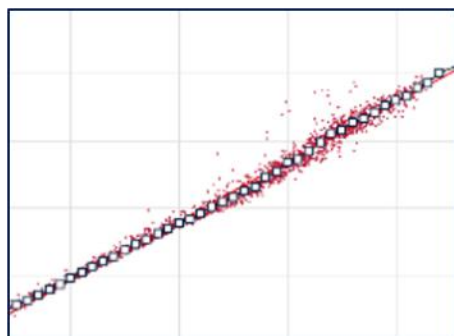
Detailed UL/EDF campaign poster and case study available upon request

WindCube Nacelle的进一步应用：风机性能优化

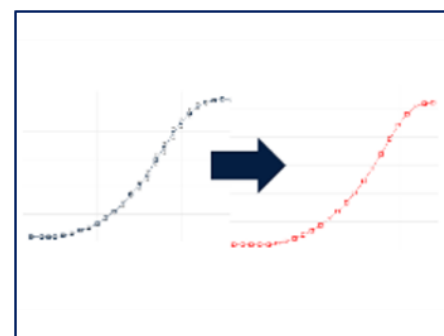
- WindCube 机舱可进行功率性能测试 (PPT)，包括符合 IEC 标准的合同 PPT
 - 风机偏航误差是提高风机性能的关键因素
 - 快速、简便的机舱传递函数NTF的测量，可纠正机舱风速计的测量漂移
 - 连续、精确的风力测量，还可用于风机的状态诊断和不佳性能检测
 - 不同风向下的测量与数据分析，可以了解周边风机的尾流效应
 - 风机维护或技术改造后的风机性能验证，包括限功率情况的分析
- => WindCube Nacelle 是在风电场整个生命周期内监测和优化风机性能的可靠工具。



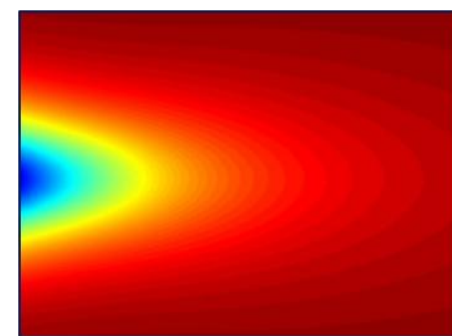
风机偏航误差



机舱传递函数NTF



风机维护或技术改造后的
的风机性能验证

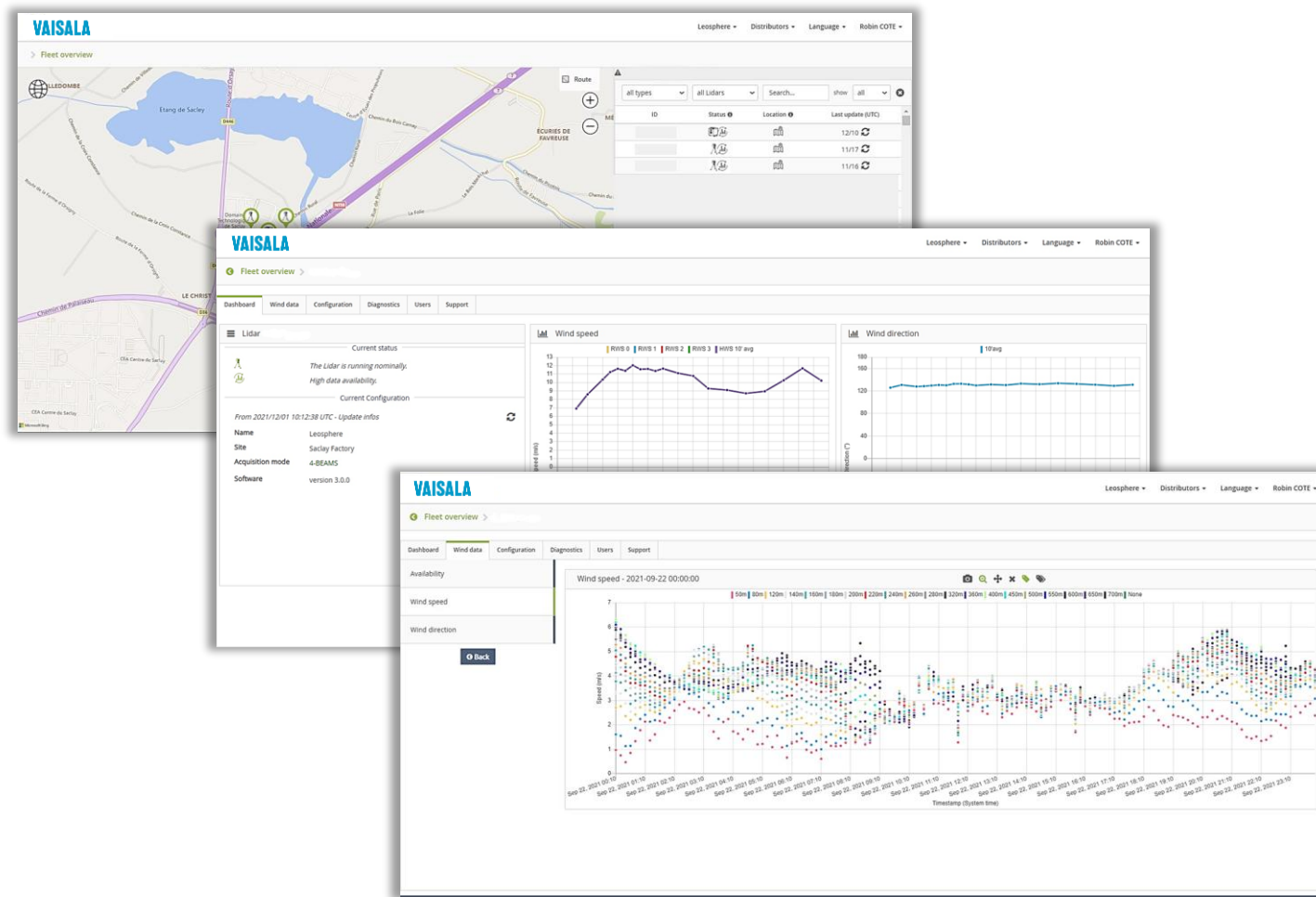


科研项目与研究计划

WindCube Insights软件：设备管理功能

易于数据访问和设备状态管理

- 云平台：安全、可靠
- 统一、集成的设备管理系统，包含了用户拥有的WindCube Nacelle机舱式激光雷达、WindCube地面式激光雷达
- 用户友好的软件界面：可直观查看用户全部设备的状态，可进行便捷、实时、有效的设备管理
- 可设置**快速**诊断，定制的实时警报和邮件自动通知
- 多级用户访问权限，实现灵活、可追溯的系统、数据和活动管理



WindCube Insights软件：数据分析功能

软件内嵌了数据分析功能

简化了功率曲线的数据分析工作，附加了诊断功能

- 易于使用的云端软件
- 结合 WindCube Nacelle激光雷达、风机的数据
- 简化了数据之间时间同步的分析工作
- 可进行功率曲线的计算、显示、数据过滤和不确定性计算
- 基于当前的 IEC 标准和最佳实践
- 具有较好的分析过程的透明度和计算的完整性
- 其他应用：不同风向扇区的分析



WindCube Insights软件：多个数据分析模块



结论



经验丰富

超过10 年的机舱激光雷达应用经验，400 多次现场部署，适用于100 多个陆上和海上风机类型



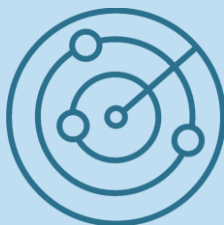
广泛被使用

常被指定为在标准风速测量设备，用于风机服务与协定中合同功率曲线测量



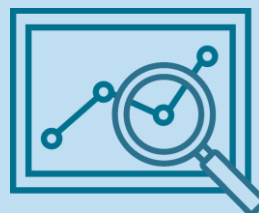
测量之间的普遍性

从陆上风机到最大的海上风机，可为不同尺寸或类型风机测量功率曲线，测量结果之间的比较更有一致性



优异的风场测量性能

从 50 米到450/700米，每秒同时10/20个距离，4 个光束每 10分钟提供12,000个有用的风场数据



Insights分析软件 – 充分发挥了测量数据的价值

实现快速、简单、符合 IEC 标准、完整和透明的功率曲线计算



坚固耐用、易于操作

3 年保修和服务期、安装简便、系统自动诊断

VAISALA