

操作手册

磁导率仪

FerroPro紧凑型

固件版本 740 及更高版本

2025-03



List-Magnetik海因里希·李斯特工程硕士有限公司

D-70771 Leinfelden-Echterdingen Max-Lang-Str. 56/2 电话: +49

(711) 903631-0

互联网: <https://www.list-magnetik.com> 电子邮件: info@list-magnetik.de

de



引言.....	2
警告与危险.....	3
快速入门.....	3
基本信息.....	4
剩余磁性/剩磁.....	5
待测零件的尺寸.....	5
显示结构.....	6
导航.....	7
测量.....	8
校准.....	12
内存管理.....	13
特殊测量方法.....	14
粗略地看.....	14
数据日志.....	16
设置.....	17
显示.....	17
语言.....	17
背光.....	17
音量.....	17
权力.....	17
模式（切换激励场强度）.....	18
校准.....	18
设置参考值.....	18
限值.....	18
信息与系统.....	19
状态栏.....	19
电源关闭.....	19
日期和时间.....	19
删除内存.....	20
工厂重置.....	20
体系.....	20
技术数据.....	21
适用于 Windows、Android 和 iOS 的应用程序.....	22
Lima Connect for Windows.....	22
适用于 Android 和 iOS 的 Lima Connect.....	22
SCPI 通信接口.....	24
重要说明.....	25
更换电池时保留已存储的测量数据.....	25
更换探头.....	25

引言

List-Magnetik FerroPro紧凑型磁导率计可用于测定材料和部件的相对磁导率 μ_r ，测量范围为1.000至5.000。

磁导率或磁导率可反映材料被磁化的强度。

应用领域包括不锈钢的质量控制、结构部件的无损检测、电子/离子物理及核磁共振设备的材料选型，以及高应力部件材料变化的检测。

该仪器采用经精确校准的参考标准进行校准，这些标准可溯源至德国不伦瑞克的德国联邦物理技术研究院 PTB (Physikalisch-Technische Bundesanstalt PTB)。仪器易于重新校准，每台设备均附带校准标准品。材料的磁导率通常与磁化场的强度和频率密切相关。FerroPro compact探头可调节至不同的励磁场强度。该仪器可用于按照 ASTM A342测试方法1和4、EN 60404-15方法6以及VG 95578标准进行符合规范的磁导率测量。

FerroPro compact配备图形化LCD触摸面板，采用创新用户界面，分辨率为320×480像素。

扫描功能允许用户扫描零件表面并对数据进行统计分析。附加的模拟显示屏可增强测量值的可视化效果，使用户能够一目了然地观察到趋势和峰值。

该仪器配备灵活的数据记录器、数字与模拟双显示界面以及峰值测量功能，可满足各类渗透率测量需求。其无线接口可将数据传输至Windows个人电脑或Android/iOS应用程序；USB接口则支持设备连接外部电源以实现持续运行。

测得的渗透率值取决于微小物体的尺寸。该设备的灵敏度随物体厚度的增加而提高。当材料厚度为5毫米且延伸长度约为20毫米时，测量结果与物体尺寸无关。

警告与危害

请勿在爆炸性环境中使用该设备。

制造商不对因使用该设备而造成的任何间接损害承担责任。

请将探头远离磁铁及磁性材料。探头与磁铁或磁性材料接触可能导致仪器损坏。

使用本仪器前，请仔细阅读整本说明书。

本手册及配套仪器如有变更，恕不另行通知。
未经事先通知。

快速启动

- 首先将探头电缆连接至探头及仪器。
- 使用红色电源按钮开启**FerroPro compact**。
- 仪器通电时会自动执行零点校准。在此过程中，探头应远离金属部件并处于磁场之外。
- 若需在仪器设置为英文时切换为德文，请进入“设置”（Settings）界面。⚙️、接口和语言

一般信息

FerroPro紧凑型磁导率测试仪专为测量弱磁化材料及结构的相对磁导率 μ_r 而设计，其 μ_r 范围为1,000至5,000。

使用**FerroPro compact**，您可以根据**ASTM A342 测试方法 1 和 4**、**EN 60404-15 方法 6 和 VG 95578**进行符合标准的渗透率测量。

相对磁导率是无量纲的。

这是磁通密度**B**与磁化强度**H**之间的关系：

$$B = \mu_r \mu_0 H$$

其中 μ_0 为真空磁导率

$$\mu_0 = 4 \times \text{Pi} \times 10^{-7} \frac{\text{m kg}}{\text{A}^2 \text{s}^2}$$

FerroPro compact 适用于必须使用完全非磁性材料的应用场景中的材料选择，例如电子显微镜、电子或离子光谱仪、核磁共振设备以及指南针导航设备周边环境。

除用于不锈钢及其他合金的质量控制外，该技术还可用于检测高应力部件中的材料变化。

进行磁导率测量时，需将探头垂直放置在工件表面，使探头尖端接触工件。倾斜探头会略微影响测量结果。相对磁导率的测量值（单位： μ_r ）会直接显示在显示屏上。

FerroPro compact的校准依据的是经精确校准的参考标准，这些标准可溯源至德国不伦瑞克的德国联邦物理技术研究院（Physikalisch-Technische Bundesanstalt PTB）和英国泰丁顿的国家物理实验室（National Physical Laboratory, NPL）。校准检查十分简便，每台仪器均附带校准标准品。

该校准标准可追溯至 PTB 标准。

为检查校准状态，请将探头垂直精确放置在校准标准品上，使探头尖端恰好位于顶部中心位置。显示数值应与校准标准品上标注的数值一致。如有需要，可在仪器的“校准”菜单项下调整校准设置。

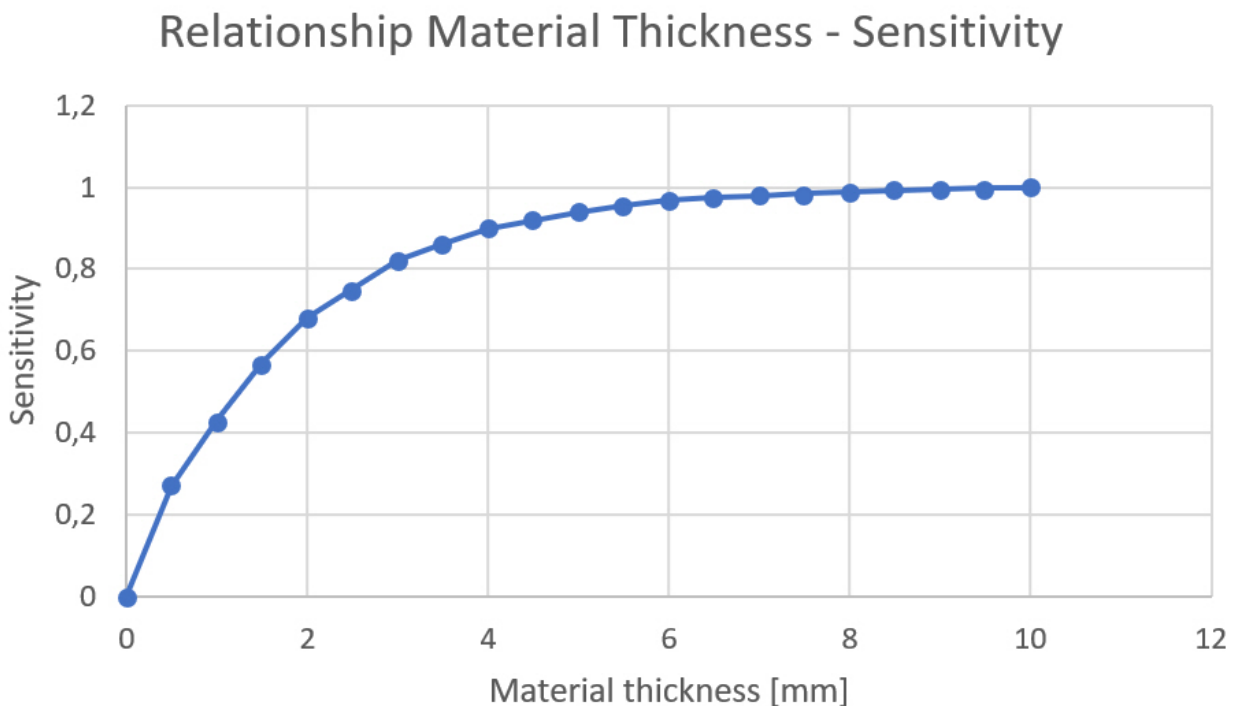
残余磁性/剩磁

许多材料（如不锈钢）在强磁场作用下可被永久磁化。当外部磁场关闭时，残余磁化（即残余磁场强度或剩磁）会影响磁导率测量结果，因为探头中的磁场传感器会对工件产生的非均匀磁场产生响应。因此，建议在进行磁导率测量前，对已磁化的工件使用衰减交流磁场进行退磁处理。

待测量部件的尺寸

渗透率的测量值取决于小型工件的尺寸。仪器的灵敏度随工件厚度的增加而提高。当厚度约为5毫米、长度约为2厘米时，测量结果不受工件尺寸的影响。灵敏度与厚度的大致关系如下图所示。

灵敏度定义为 $(\mu_{r_{\text{显示值}}} - 1) / (\mu_{r_{\text{真实值}}} - 1)$ 。



显示结构



显示屏分为5个区域。

状态栏显示当前菜单位置的标题及电池状态。

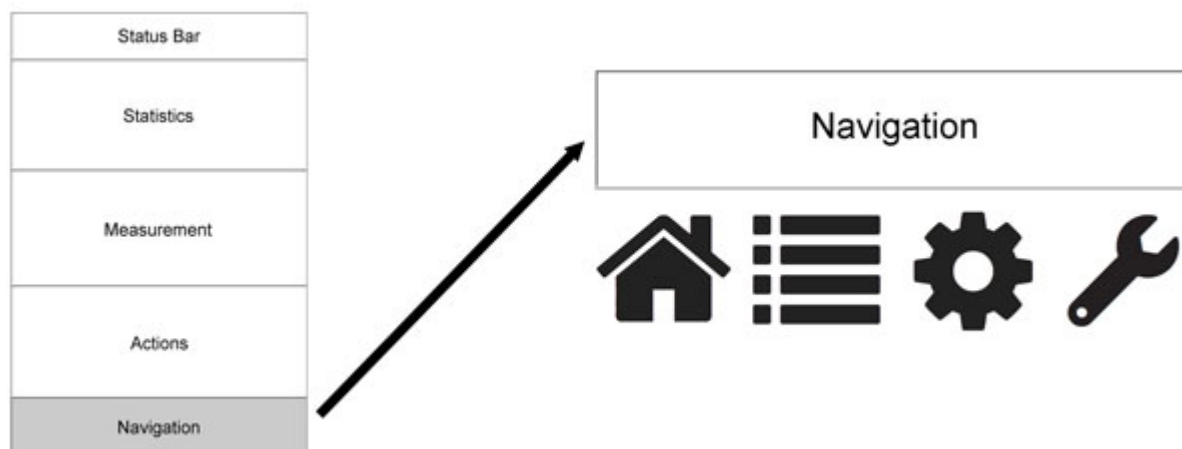
统计信息区显示一系列测量数据的统计信息。如果未激活内存批次，则此处会显示 List-Magnetik 徽标。

中央是**测量**显示屏，显示当前测量值及其附加信息。

根据当前显示内容，**操作区域**中存在可触发相应处理及特殊功能的符号。

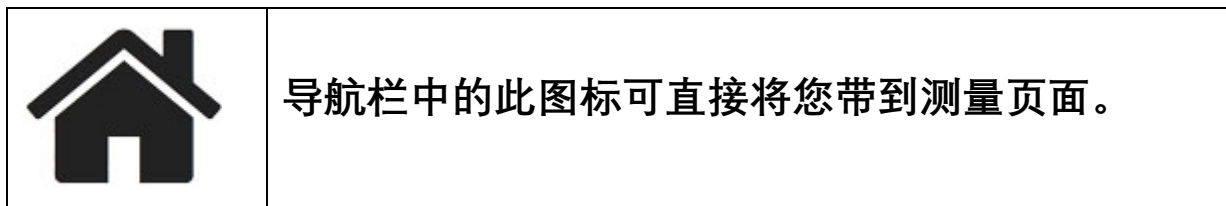
导航

屏幕底部是**导航**区域，可通过该区域跳转至不同的服务区域。



	<p>测量</p> <p>“首页”：在此您可以随时返回测量界面</p>
	<p>数据日志</p> <p>系统将显示当前活动内存批次的单独测量值；若数据记录器处于关闭状态，则显示最近一次活动内存批次的测量值。</p>
	<p>设置</p> <p>本节允许您设置语言、计量单位及其他测量与显示参数，以及电源管理设置。</p>
	<p>信息与系统</p> <p>关闭设备，查看硬件和软件状态，或执行出厂重置。</p>

测量



该测量装置每秒连续采集5至6次读数，显示屏实时更新显示内容。

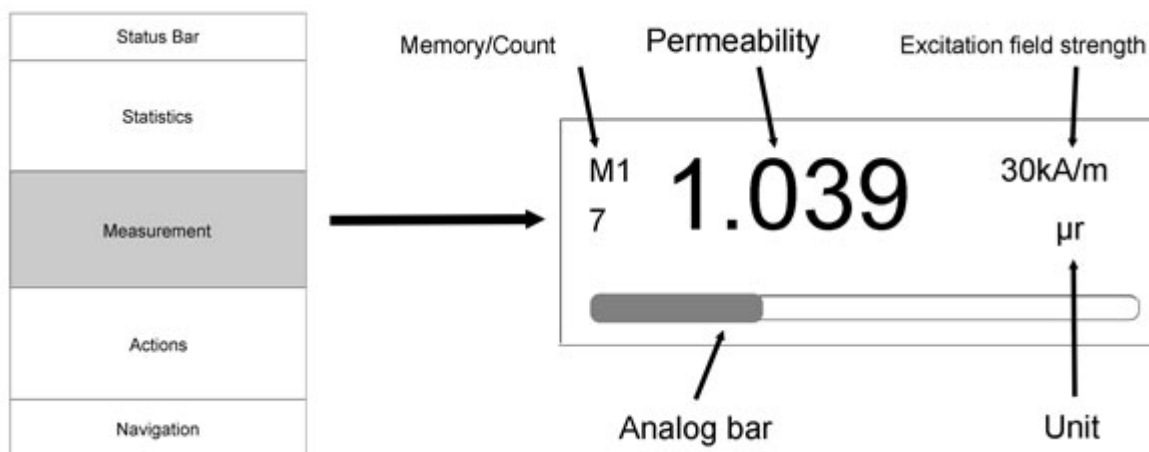


中间部分显示了测量值、激励场强度及测量单位 μr 。左侧展示了当前激活的存储器及其容量。

读数颜色为黑色。若设置了限值，则测量值低于下限值时显示为蓝色，高于上限值时显示为红色。

读数下方是一个模拟条形图。当设置限值时，该条形图表示下限和上限之间的范围。当数值低于下限或超过上限时，条形图即为完整状态。

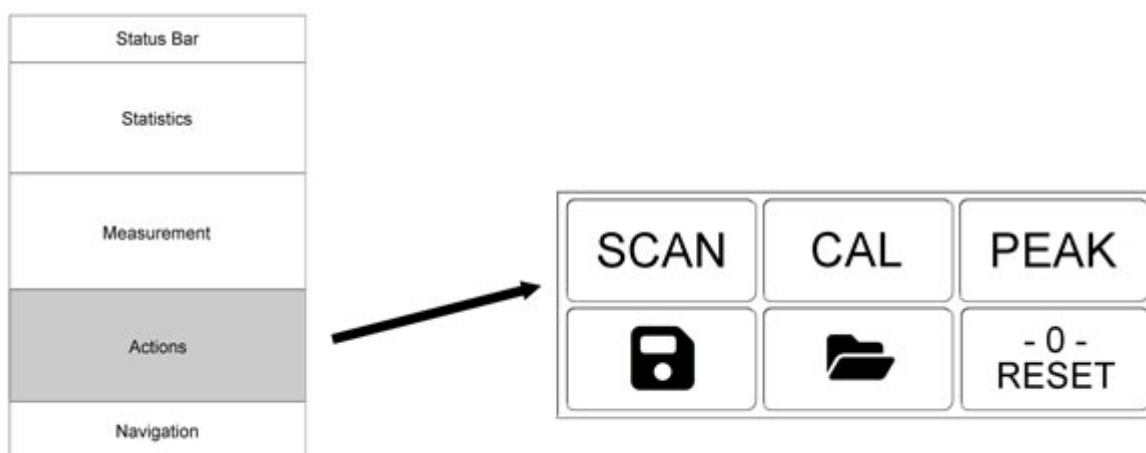
如需保存当前读数，可轻触软盘图标将当前读数传输至当前内存。传输操作会通过蜂鸣声确认。该内存的统计信息将如常规测量一样显示在测量显示屏上方区域。



若您已启用内存批次功能，该内存批次的统计信息将显示在读取结果上方区域，而非徽标处。

操作

测量显示界面中操作区域的概述。





当软盘图标与其他按钮一样显示为常规颜色时，您可以点击它来保存测量数据。

如果软盘图标不可见，则表示没有活动的内存批处理任务。

请注意使用 Lima Connect 时：

若软盘图标处于激活状态且设备已连接至 Lima Connect 应用程序（适用于 Windows、Android 和 iOS 系统），测量值将立即传输，并可在应用程序中以在线测量值的形式查看。

如果软盘符号处于非活动状态，则无法进行在线测量。

- 0 -

归零测量值。

卡尔

进入校准功能。在此您可以重新校准探头。

峰值

峰值测量：峰值检测功能记录磁场的峰值，而非显示连续读数，仅显示大于前一峰值的数值。

若峰值测量功能处于激活状态，该按钮将被高亮显示。如需返回常规测量模式，请再次按下该按钮。

重置

在峰值测量期间重置峰值值。

重置后，峰值再次按升序从1开始确定。



要激活内存批次，请使用此“文件夹”图标切换至数据日志管理。

自激活时刻起，测量数据即可被存储。

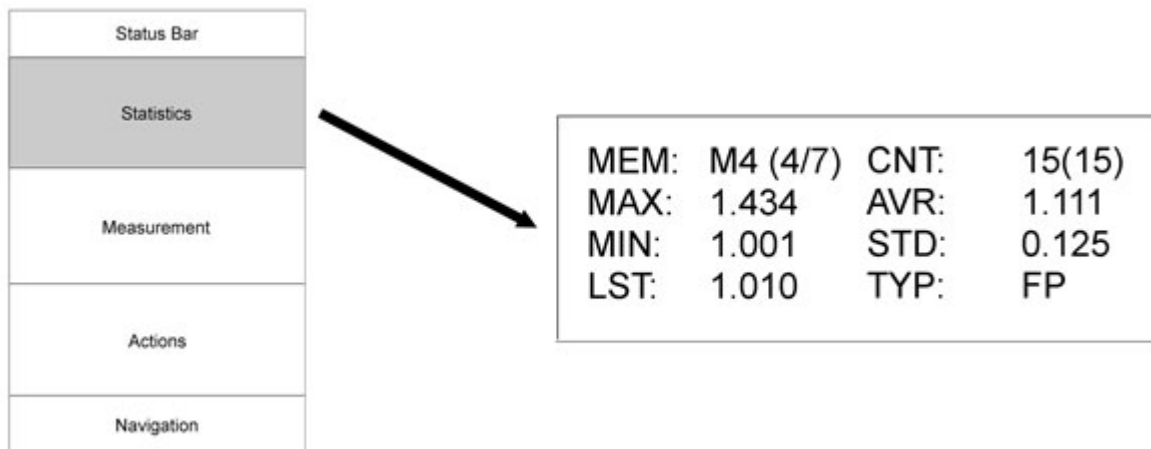
扫描特殊功能扫描测量

详见独立章节“特殊测量方法”。

只有关闭峰值测量（PEAK）功能，才能进行扫描测量。

统计显示

仅当某个内存批次处于活动状态时，才会对该内存批次的先前读数进行统计评估。



示例中显示的统计数据如下：

内存批次编号4处于激活状态（M4）。总共有7个内存批次（当前为第4批次，占总数的4/7）。内存批次4中共存储了15个数值。

根据这15个数值计算出最大值、最小值、平均值及标准差。

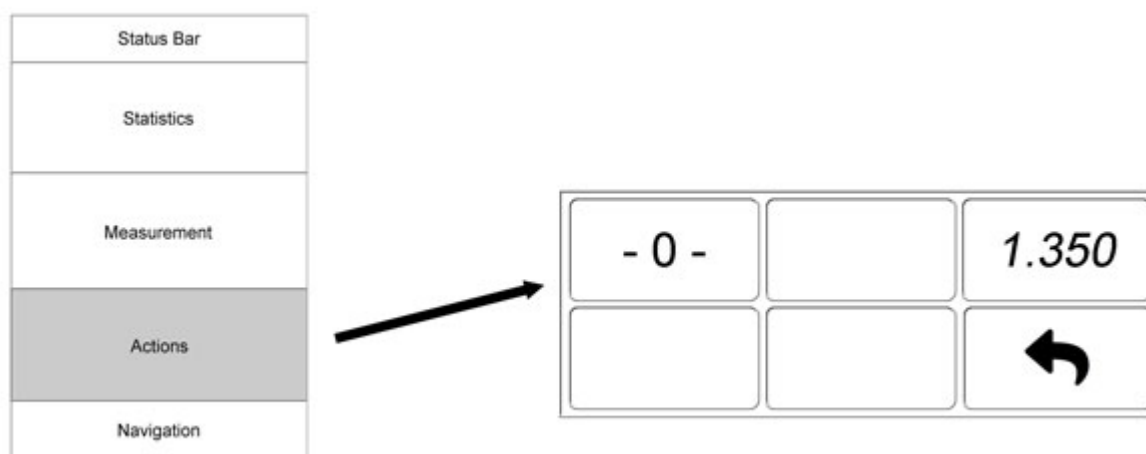
最后存储的值是 1.010。

校准

如果该仪器已经使用过且校准正确，则最后一次输入的校准值会自动根据仪器通电后可能发生的任何温度波动进行调整或修正。只有当使用校准标准进行测量时，测得的数值不再准确时，才需要进行新的校准。

操作

校准显示操作区域概述。



- 0 - 在空气中进行零校准。

1.350 $\mu\text{r} = 1.350$ ，或根据仪器设置选择其他数值。

您可在设置菜单（通过导航栏访问）中调整校准标准的参考值。


确保测量类型设置为正确的励磁场强度。**ListMagnetik**提供的校准标准参照值为**30 kA/m**。

概述之后附有详细说明。



返回测量

操作按钮会显示一个数值，例如：1.350 或类似情况。检查您的校准标准品，其数值是否一致？若不一致，则必须先将仪器设置为参考值。

为此，请使用导航前往  设置/校准。

当你选择时 1.350 按钮已高亮显示。该仪器现已准备好进行校准。将探头置于校准标准品上，读数将自动调整至预设值。颜色恢复原状后即可移除探头。

内存管理

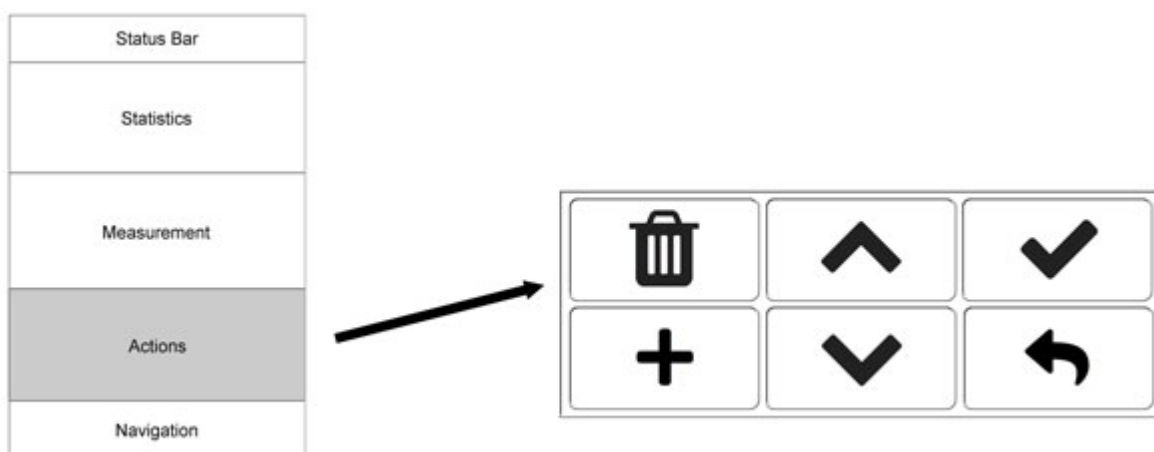
数据记录仪同时记录自动存储的单个测量值以及连续测量过程中主动存储的数值。扫描存储器为独立管理的存储单元，此处不予考虑。

您可以根据需要创建任意数量的示例存储单元。每个存储单元都会被分配一个唯一的自由编号及开头字母“M”。最多可将10,000次测量数据存储在这些M个存储单元中。

如果您尚未创建或激活内存批次，则并非所有测量结果都会被存储。因此，在连续测量过程中，软盘图标将不可见。

操作

数据日志管理操作区域概述。



	返回测量
	<p>创建一个新的内存批次。</p> <p>您可以输入额外文本以描述新的测量系列。</p> <p>新的内存批次立即生效。当您返回测量显示界面时，软盘图标会被高亮显示，且下一次测量数据将被记录到该内存批次中。</p>
 	<p>滚动浏览内存批次。</p> <p>输入的附加文本将会显示。您可以通过点击数据日志的导航图标来查看各个数值。</p> 
	选择内存批次，以便立即使用
	删除当前显示的内存批次

特殊测量方法

扫描

扫描测量功能可记录磁导率值随时间的变化情况

- 该装置可以是用于测量运动部件的固定位置探头，也可以是沿固定位置部件移动的探头。例如，可使用探头对管道进行全方位扫描。

首先，将探头放置在待测部件上。开始测量后（**开始**（按钮），您可缓慢移动探头在工件周围移动；或者，根据测量设置的不同，也可开始让工件在探头上移动。

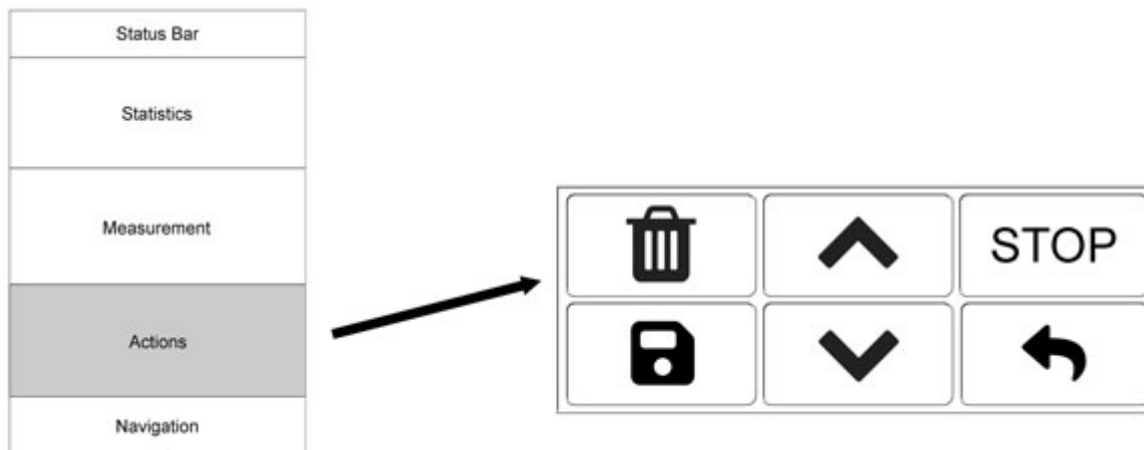
每秒自动执行 20 次测量。

该测量结果以图形形式显示在显示屏上。在统计数据显示界面中，系统会计算并显示计数值、最小值、最大值及平均值。

要停止扫描，请按下使停止 按钮，将探头从工件上取下。

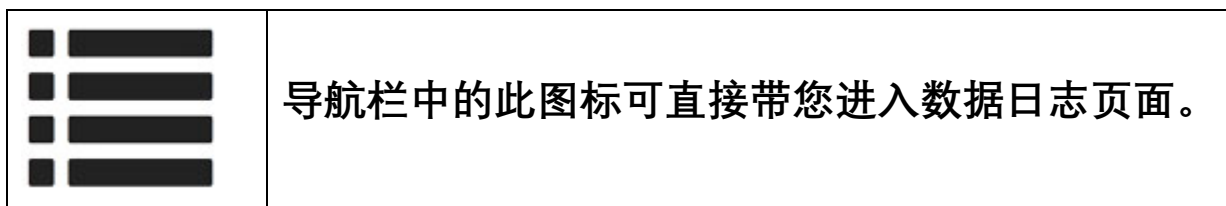
操作

扫描测量显示界面中操作区域的概览。



开始扫描开始。随后，文本变为“STOP”，按钮会被高亮显示。	
使停止	扫描结束
	恢复正常测量
	保存扫描过程。 您可以输入一段简短文本，该文本将在滚动查看统计信息下方时显示。 您可以根据需要创建任意数量的扫描内存。每个内存批次都会被分配一个唯一的自由编号，并以“S”作为前缀。
	浏览已保存的扫描文件。 显示统计数据、简短文本及图形进度曲线
	删除当前显示的扫描结果

数据日志






当您导航至数据日志时，会显示当前M内存批次的测量结果。当前M批次与左侧读数显示屏中所示的批次相同，其统计信息显示在读数上方。

对于每条记录，测量的当前编号、日期和时间均以 MM-DD hh: mm（月份、日期、小时、分钟）的格式显示，同时标注常量“FP”（即 FerroPro）及测量值。

“PFP”表示该测量值为峰值。

读数颜色为黑色。若设置了限值，则测量值低于下限值时显示为蓝色，高于上限值时显示为红色。

点击某行会禁用该阅读内容并标记为待删除；该行颜色会发生变化，并会被划掉。再次点击即可重新启用该阅读内容。

	每页显示8个读数。您可以使用滚动按钮查看下一个或最后8个数值。
	垃圾桶图标会删除所有测量数据序列。然而，内存批次仍保持激活状态，因此后续测量数据仍会写入该内存批次。
	若某条阅读记录处于非活跃状态，可通过点击剪刀图标将其永久删除。

设置



导航栏中的此图标可直接引导您进入设置界面。

显示

可在显示菜单中调整语言、背光和音量。

语言

支持的语言包括英语、德语、意大利语、法语和西班牙语。

更改语言后，设备将关闭，必须重新启动。

背光

您可以使用滑块调节显示屏的亮度，亮度越高，功耗越大。

音量

使用滑块调节蜂鸣声的音量。

功率

您可以设置自动关机时间：5分钟、10分钟、30分钟，或选择“永不关闭”（如果您不希望设备自动关机）。

节能模式运行1分钟后，亮度将自动恢复至10%。

模式（切换激励场强度）

支持的激励场强分别为 30 kA/m、25 kA/m 和 200 Oe。

30 kA/m 和 25 kA/m 的数值均源自可溯源至德国布伦瑞克物理技术联邦研究所 PTB（Physikalisch-Technische Bundesanstalt PTB）及英国泰丁顿国家物理实验室（National Physical Laboratory, NPL）的参考标准。

MIL-1-17214 标准规定了 200 Oe 的参考值。

校准

设置参考值

参考值由工厂根据提供的校准标准设定，其数值约为 $\mu_r = 1.35$ ；具体数值印在标准文件上。

如您使用的是其他校准标准，可在此处设置正确的数值。

从现在起，校准显示屏将显示在校准操作按钮上刚刚设置的数值。

限额

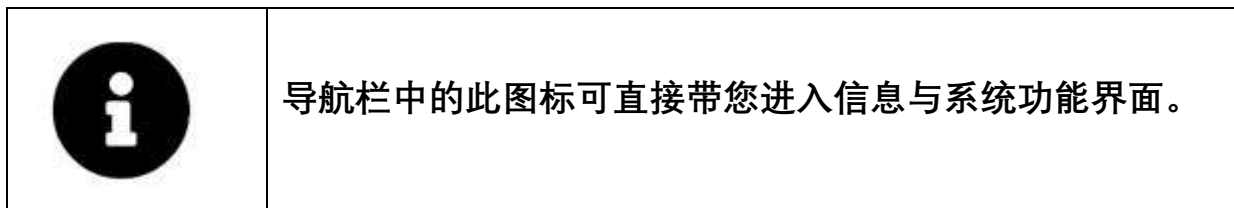
设定上下限会影响测量值的显示方式。所有数值均必须使用选定的计量单位进行输入。

上限值已超出：测量值为红色

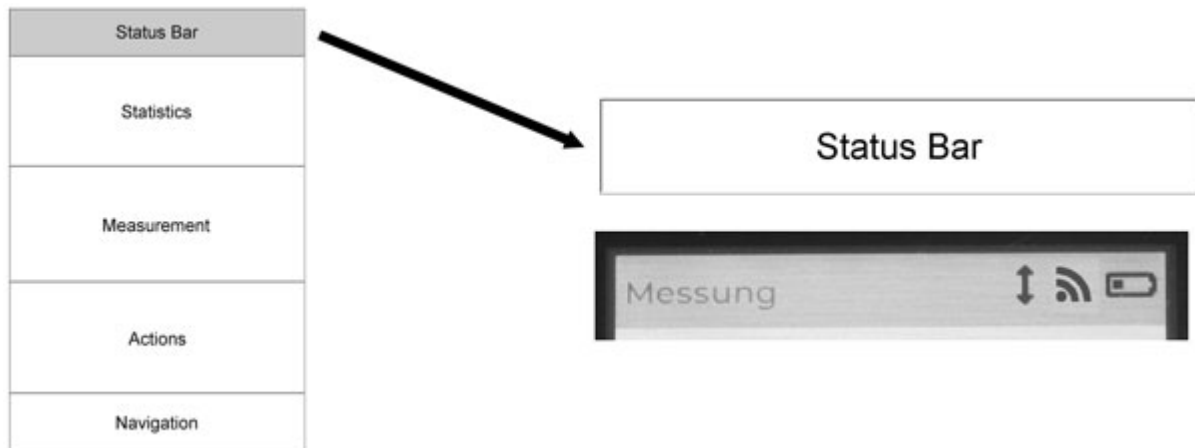
低于下限：测量值为蓝色

颜色变化同时出现在测量显示屏和数据日志中。

信息与系统



状态条



系统显示屏显示状态栏内容。状态栏右侧显示三个符号：探头、无线接口和电源。

当数据传输处于活跃状态时，无线接口的符号会高亮显示。

电源可采用通过USB接口连接的外部电源，或使用具有大致剩余容量的电池。

电源关闭

关闭设备有两种方法：长按红色电源按钮直至听到蜂鸣声，或使用系统菜单关闭设备。

日期和时间

日期和时间可手动设置，或通过PC应用程序**Lima Connect**进行设置。

手动设置时，请注意日期采用 **xxxx-xx-xx**（使用连字符）表示，时间采用 **xx: xx: xx**（使用冒号）表示。

删除存储器

所有来自单次测量或扫描的记忆批次数据均被清除。
设置不会被清除。

工厂重置

出厂重置功能可恢复仪器的所有预设设置，同时清除所有内存数据。当设置发生变更导致仪器无法正常工作，或探头校准效果不佳时，应使用此功能。

系统

设备数据例如显示序列号、固件版本、当前电池电压以及无线连接的MAC地址。这些数据在需要技术支持时可提供帮助。

电池电压必须高于2.8V。若低于2.8V，设备将自动关闭。

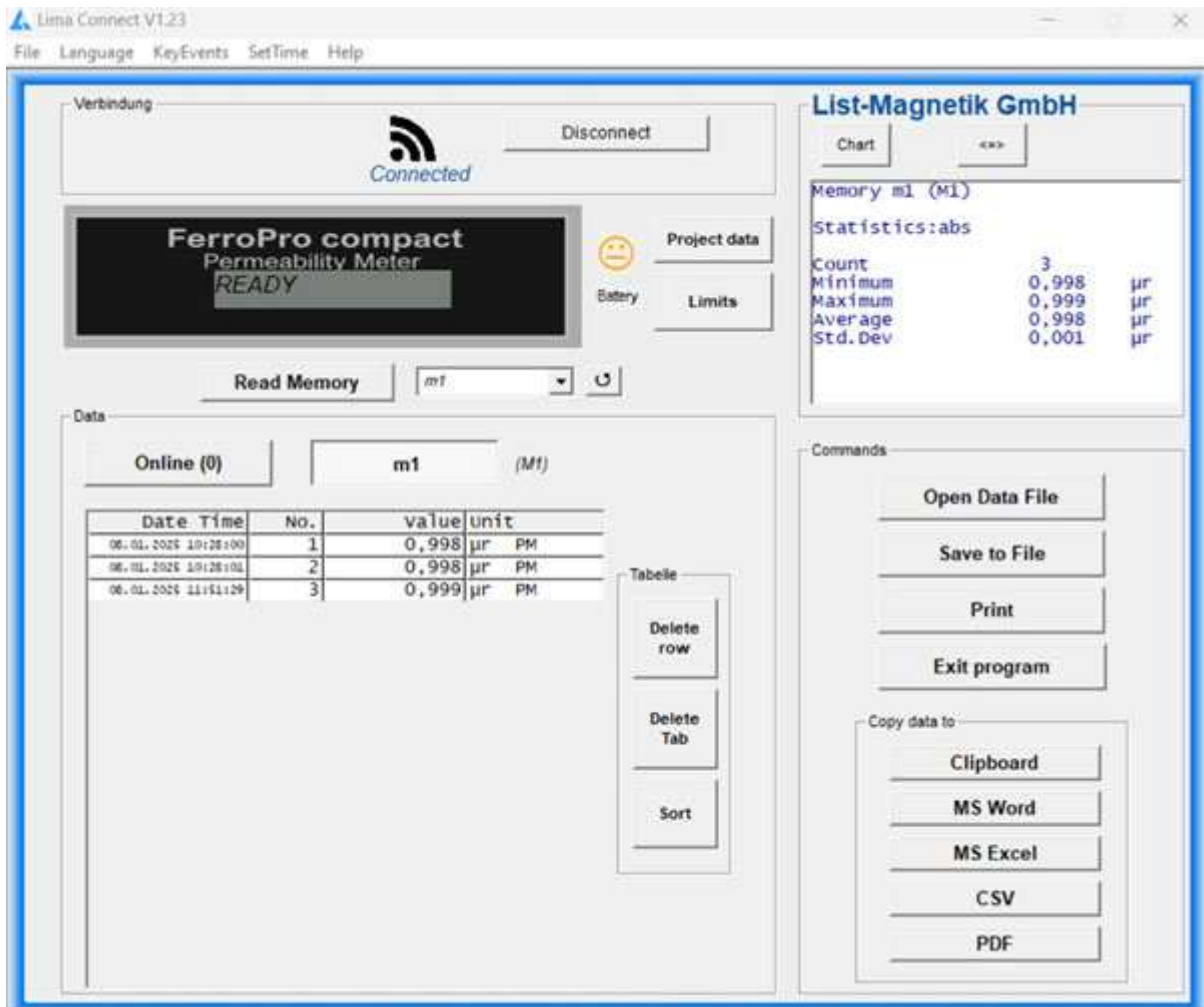
技术数据

测量范围:	$\mu r = 1.000$ 至 5.000
针探:	FPC -5, 可互换, 配有可单独互换的电缆
20°C下的准确度:	$(\mu r - 1) \times 5\%$ 的校准值可参照可溯源的校准标准进行重新调整。
分辨率:	0.001
环境温度范围:	0 - 50° C
显示:	LCD彩色触摸屏, 分辨率为320×480像素
多语言菜单:	英语、法语、德语、意大利语、西班牙语
数据记录器:	10,000次测量, 可灵活分割
统计数据:	计数 / 最大值 / 最小值 / 平均值 / 标准差
接口:	用于与Android、iOS和Windows系统通信的无线接口
适用于 Android、iOS 和 Windows 的应用程序:	可通过 Google Play 商店、Apple App Store 或 List-Magnetik 网站免费下载
电源:	3节1.5V AA型迷你电池。可通过USB接口连接外部电源。
运行时间:	电池续航约25小时, 外接电源使用时续航时间无限制。
尺寸:	150 x 85 x 35 mm
重量:	320克, 带电池

适用于 Windows、Android 和 iOS 的 LIMA Connect for Windows 应用程序

用于向PC传输数据的免费Lima Connect应用程序可从<https://www.list-magnetik.com/en/lima-connect>下载。

通过Lima Connect，您可以使用无线技术连接到Windows电脑，进行在线测量或读取设备内存数据，对数据进行统计分析并以图表形式呈现。您可打印结果或将数据传输至后续应用程序，例如Microsoft Word和Microsoft Excel。



LIMA CONNECT适用于 Android 和 iOS 平台

为进一步处理您的测量数据，您还可以将设备与安卓及iOS移动设备配对。您可通过Lima Connect安卓和iOS版本进行在线测量或读取设备存储数据。仅在这两个移动版本中，您可管理项目并在照片中标记测量点。测量结果可进行统计分析并以图表形式呈现。安卓和iOS版本的应用程序均免费提供。

Lima Connect Version V1.0.01

Mark measure point in Picture

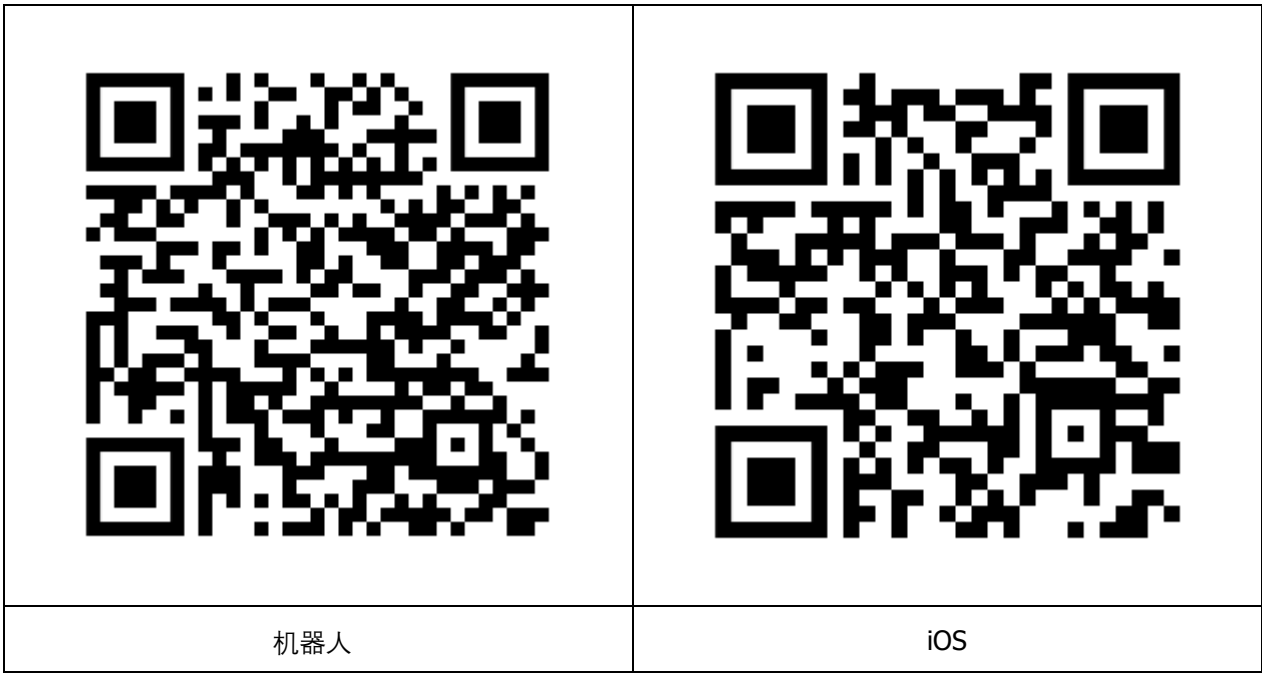
Datum	Number	Messwert	Unit		
+	1	1,346	µr	PM	□
+	2	1,346	µr	PM	
+	3	1,340	µr	PM	

Count: 3

Min: 1,340 Max: 1,346

Mittel: 1,344 Std.Dev: 0,003

1,340 µr PM



SCPI 通信接口

SCPI（可编程仪器标准命令）是一种标准化协议，可通过 GPIB（通用接口总线）、USB、RS-232或以太网等多种接口控制和查询万用表、示波器或频谱分析仪等仪器。该协议实现了计算机与仪器之间的标准化、便捷通信，且不受制造商限制。

List-Magnetik系列仪器**MP-4000（磁场测量）**、**FerroPro compact（磁导率测量）**、**MEGA-check DX（涂层厚度测量）**、**ferrite-check 240（铁氧体含量测量）**及**fluxcheck 250（磁通计）**均配备 SCPI 接口，可支持在线远程测量并输出测量数据。连接通过USB实现，同时确保电源供应与持续运行。

基本 SCPI 命令

SCPI 命令由按层次结构组织的关键词组成，可选择性地进行参数化。这些命令通常使用大写字母书写，但若关键词具有唯一性，也可使用其简写形式。

基本 SCPI 命令示例

- * IDN ? : 获取设备标识。
- 测量：电压：直流? : 测量直流电压。
- 配置：电流：交流：配置仪器以测量交流电流。
- 阅读：请阅读当前测量结果。

List-Magnetik仪表的特殊实现方案

- 设置日期和时间
- 设置测量单位
- 测量类型设置（磁场测量：直流/交流、自动量程、量程1或2、峰值开关；涂层厚度测量：自动、仅FE、仅NF、双工模式）
- 零点校准，亦即用于涂层厚度测量的两点校准
- 获取测量值（涂层厚度测量：点式或连续式）

文档与应用示例

在我们的网站上，您可以找到更多文档资料、基于LabView的示例应用程序以及用于测试功能的LabView运行环境。

“ SCPI Demo” 安装包的内容

SCPI Demo安装包包含：LabView运行环境、适用于MP-4000、FerroPro compact和mega-check DX三款设备的示例应用程序（EXE文件），以及这三款应用程序的源代码（SRC）。但需使用LabView许可证方可读取和编辑源代码，而该许可证未包含在内。安装包可解压至任意Windows目录。必须先安装LabView运行环境“ni-labview-2024-runtime-engine_24.1.0_offline.iso”，才能运行这些示例应用程序（例如“LabView MEGA-check DX.exe”）。

重要说明:

更换电池时请保留已存储的测量数据

保存的测量值即使在设备关闭或设备无电池状态下存放时仍会保留。

更换探头

如需更换测量探头，请提前关闭设备。将所需测量探头连接至探头电缆，然后重新开启设备。

我们提供：

- 涂层厚度测量仪
- 磁场计
- 材料测试设备（渗透性及铁氧体含量）

我们提供专业的建议，并根据您的具体需求量身定制计量解决方案。

快速校准与维修服务



List-Magnetik海因里希·李斯特工程硕士有限公司

D-70771 Leinfelden-Echterdingen Max-Lang-Str. 56/2 电话: +49
(711) 903631-0

互联网: <https://www.list-magnetik.com> 电子邮件: info@list-magnetik.de

