



NACHHALTIGER LABORBETRIEB AN HOCHSCHULEN

Empfehlungen zur Reduktion von
Ressourcenverbrauch und
Umweltbelastung

2022 - 2024

gefördert durch



Deutsche
Bundesstiftung Umwelt

www.dbu.de

Publikationsdatum, 15.05.2025

Verfasser:innen:

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Prof. Dr. Walter Leal, Caterina Baars, Sven Kannenberg,
Patrycja Karwasiecka



Technische Universität Darmstadt

Prof. Dr. Nico Bruns, Bianca Schell



Institut für Umwelt & Energie, Technik & Analytik e. V.

Dr. Thorsten Teutenberg, Dr. Tobias Werres



NIUB-Nachhaltigkeitsberatung

Dr. Kerstin Hermuth-Kleinschmidt



Das Projekt „NachLabs“ (Projekt 38337/01) wurde ermöglicht durch die Förderung der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU). (<https://www.dbu.de/projektdatenbank/38337-01/>)

Zitierempfehlung:

Karwasiecka P, Baars C, Kannenberg SH, Schell B, Werres T, Hermuth-Kleinschmidt K, Teutenberg T, Bruns N & Leal W (2025) Nachhaltiger Laborbetrieb an Hochschulen – Empfehlungen zur Reduktion von Ressourcenverbrauch und Umweltbelastung. Abrufbar über die Projekthomepage: <https://www.haw-hamburg.de/forschung/forschungsprojekte-detail/project/project/show/nach-labs/>

Die Nutzung dieses Dokuments ist unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International (CC BY 4.0) Lizenz autorisiert.



CONTENTS

Zusammenfassung	VI
Hintergrund	1
Erkenntnisse aus der Hochschullandschaft: der Status Quo deutscher Hochschulen	4
Methodik	4
Ergebnisse	4
Materialien und Reagenzien	5
Geräte und Energieverbräuche	8
Second-Life VON LaborGeräten	10
Beschaffung	12
Abfallmanagement	14
Nachhaltigkeitsbewusstsein	16
Zertifizierungen im Fokus: Standards, Barrieren und Chancen	19
Vergleich: LEAF & My Green Lab - öffentlich verfügbare Informationen	20
Vergleich in der Praxis	24
Schlussfolgerung	25
Handlungsempfehlungen für die Auswahl zwischen den Nachhaltigen Laborprogrammen LEAF und My Green Lab	26
kombination von leaf und der ecomapping®-methode	27
Die Ecomapping®-methode	27
erarbeitung eines bewertungstools: kombination von LEAF und Ecomapping®	29
Version 2: erarbeitung eigener kriterien (unabhängig von leaf) und erweiterung des tools	30
anbindung an vorhandene zertifizierungsprogramme	31
Schlussfolgerungen und handlungsempfehlungen	31
Miniaturisierung: Innovation und Perspektiven	33
Einleitung	33
Vorteile der Miniaturisierung in universitären Laboren	33
Reduzierter Ressourcenverbrauch	33
Harte Fakten der Stromverbrauch von Laborsystem und deren Ermittlung	35
Effizientere Nutzung von Laborflächen und Flexibilität der Analytik	38
Die Herausforderungen der Miniaturisierung in Laboren	39
Komplexe bürokratische und administrative Strukturen	39
Eingeschränkter Markt und geringe Investitionen	40
Hohe Anschaffungskosten	40
Schritte zur Förderung der Miniaturisierung in Universitäten	40
Verbesserung der Datenlage zu Kostenvorteilen	40
Förderung der Amortisation von Anschaffungskosten	41
Förderung der Innovation durch das akademische Umfeld	41
Schlussfolgerung	41
Ein Blick in die Zukunft: Handlungsempfehlungen	42

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Übersicht und Vergleich der Spezifikationen von LEAF und My Green Lab.....	21
Tabelle 2: Typische Parameter für den robusten Betrieb einer ESI-Ionisationsquelle in Abhängigkeit vom Miniaturisierungsgrad. RT=Raumtemperatur.	34

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Nachhaltigkeitsdimensionen in Bezug auf Laboratorien, nach Dr. Kerstin Hermuth-Kleinschmidt	1
Abbildung 2: Das Projektteam	2
Abbildung 3: Modulaufbau NachLabs	3
Abbildung 4: Demografische Daten der ProbandInnen aus der Onlineumfrage	5
Abbildung 5: Geschätzter Verbrauch von Einwegmaterialien, gewertet von 1 (geringe Nutzung) bis 5 (häufige Nutzung)	6
Abbildung 6: Die 14 Gerätegattungen (X-Achse) mit der geschätzten wöchentlichen Nutzungsdauer in Stunden (Y-Achse), über alle NutzerInnengruppen hinweg (schwarz) und nach 7 verschiedenen NutzerInnengruppen (in Farbe) aufgelöst.	8
Abbildung 7: Interviewergebnisse bezüglich Second-Life bei Geräten	10
Abbildung 8: Beachtung des Energieverbrauchs bei der Beschaffung von Geräten	12
Abbildung 9: Institutionelle Bemühungen zwecks Sammelbestellungen und Beschaffungen	12
Abbildung 10: Aussagen der ProbandInnen zu bereits getätigten Maßnahmen innerhalb der Universitäten	16
Abbildung 11: Einschätzung der Institutionellen Bemühungen	17
Abbildung 12: Design und Zertifizierungsprozess von a) LEAF und b) My Green Lab.....	20
Abbildung 13: Ablauf der Ecomapping®-Methode	28
Abbildung 14: Tool mit Priorisierung der Maßnahmen	30
Abbildung 15: Extremfall einer Verunreinigung durch Salzablagerungen in der Ionisationsquelle nach der Analyse stark salzhaltiger Probe ohne ausreichende Vorkehrungen zur Entsalzung.	34
Abbildung 16: Vergleich des Lösemittelverbrauchs einer konventionellen LC-Methode mit den miniaturisierten alternativen der Micro- und Nano LC.	35
Abbildung 17: Beispielhafter Aufbau des Monitorigkonzepts auf Basis von ZigBee.....	36
Abbildung 18: Vergleich von zwei HPLC-Modulen bezüglich des Stromverbrauchs innerhalb eines Tages. A) Shimadzu LC 40Dx 3 für den konventionellen Flussbereich. B) Shimadzu Nexera Mikros Pumpe für den Betrieb im Mikrofluss.	37
Abbildung 19: Darstellung der Daten zum Stromverbrauch des vollminiaturisierten Fluoreszenzlichtdetektor aufgeteilt in den Verbrauch des Einplatinencomputers und der Detektoreinheit	38

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

Abkürzung	Bedeutung
MGL	My Green Lab
LEAF	Laboratory Efficiency Assessment Framework
HAW	Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
IUTA	Institut für Umwelt & Energie, Technik & Analytik e. V.
TU Darmstadt	Technische Universität Darmstadt
FLD	Fluoreszenzlichtdetektor
ESI	Elektrospray-Ionisation
MS	Massenspektrometrie
HPLC	Hochleistungsflüssigkeitschromatographie
HRMS	Hochauflösende Massenspektrometrie
IMS	Ionen-Mobilitäts-Spektrometrie

ZUSAMMENFASSUNG

Das von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) geförderte Forschungsprojekt NachLabs hat sich zum Ziel gesetzt, die Umweltauswirkungen an deutschen Hochschulen zu untersuchen und potenzielle Verbesserungsstrategien zu erarbeiten.

Im Kapitel **Hintergrund** wird das Thema der Nachhaltigkeit kurz angerissen, bevor auf die Relevanz für Labore allgemein und Labore an Hochschulen im speziellen eingegangen wird. Überdurchschnittliche Rohstoffverbräuche und Umweltbelastungen sind mit Laboren assoziiert und 80% aller Hochschulen in Deutschland sind mit mindestens einem Labor ausgestattet. Aus dieser Erkenntnis heraus hat sich das NachLabs-Konsortium gebildet, welches den Umweltabdruck von Laboren deutscher Hochschulen einordnen und über verschiedene Maßnahmen zur Reduzierung aufklären soll. In diesem Zuge hat das Konsortium ein Projekt initiiert, das diese Ziele konkret verfolgt.

Die Erkenntnisse und Ergebnisse der zweijährigen Forschungsarbeit sind in diesem Dokument zusammengefasst mit dem Ziel, verschiedene Zielgruppen an Hochschulen und in der Politik anzusprechen und aus den Erkenntnissen heraus formulierte Handlungsempfehlungen für eine nachhaltigere Zukunft auf den Weg zu geben. In den Kapiteln **Erkenntnisse aus der Hochschullandschaft**, **Zertifizierungen im Fokus** und **Miniaturisierung** haben die einzelnen Partner des Projekts ihre Erkenntnisse niedergeschrieben und mögliche Veränderungen aufgezeigt.

Das Kapitel **Ein Blick in die Zukunft** rundet dieses Dokument ab, indem die Handlungsempfehlungen nochmal gesammelt dargelegt werden. Es freut mich, dass die Projektergebnisse nicht in Form von technischen Reports in Schubladen verstauben, sondern zu einem öffentlich zugänglichen und hoffentlich auch aktiv genutzten Dokument mit Empfehlungen für einen nachhaltigeren Betrieb von Laboren ausgebaut wurden. In den vergangenen zwei Jahren ist viel passiert auf diesem Gebiet: Forschungsanträge müssen Aspekte der Nachhaltigkeit explizit benennen und Stand 2025 werden Bemühungen zur Weiternutzung bestehender Forschungsausrüstung von einigen Förderern aktiv unterstützt, was den Lebenszyklus teurer Labortechnik verlängert und die Zahl der Neuanschaffungen reduziert.

Selbstverständlich sind die Ergebnisse und Erfolge des Projekts kein Anlass, um sich auszuruhen. Viele Probleme bestehen weiterhin und Innovationen und Veränderungen müssen analysiert werden. Wir werden als Team daher weiter am Ball bleiben und das Thema weiterhin hoch halten, um das Bewusstsein von nachhaltigen Praktiken in Laboren weiterhin zu unterstützen und Lösungen für die Laborpraxis bekannt zu machen.

Mit freundlichen Grüßen,



Prof. Dr. Dr. Walter Leal (Projektkoordinator)

HINTERGRUND

Angesichts des Klimawandels und der Endlichkeit unserer Ressourcen ist ein nachhaltigeres Wirtschaften und Verhalten essenziell, um eine lebenswerte Zukunft für kommende Generationen zu sichern (IPCC, 2023). Um dies zu erreichen, müssen ressourcenintensive Bereiche erkannt und Alternativen für einen anderen, ressourcenarmen Kurs geschaffen werden. Einer der Bereiche, auf welche diese Ressourcenintensivität zutrifft, liegt in den Laboren von Forschungs- und Bildungseinrichtungen, in welchen paradoxerweise oft nach nachhaltigeren Alternativen geforscht wird.

Nachhaltigkeit umfasst traditionell drei Säulen, bestehend aus den ökologischen, ökonomischen und sozialen Dimensionen. Mit Bezug auf Laboratorien können nachhaltige Entwicklungen unter Einklang aller drei Dimensionen, wie in der folgenden Grafik visualisiert werden.



Abbildung 1: Nachhaltigkeitsdimensionen in Bezug auf Laboratorien, nach Dr. Kerstin Hermuth-Kleinschmidt.

Werden die ökologischen Auswirkungen von Hochschullaboren betrachtet, ist allein der Energie- und Ressourcenverbrauch sehr hoch: Ein einzelnes Laborgebäude verbraucht im Durchschnitt drei- bis fünfmal mehr Energie und Wasser als ein Bürogebäude (Aldred Cheek & Wells, 2020). Die individuellen CO₂-Emissionen von WissenschaftlerInnen aus Forschungsinstituten liegen zwischen etwa vier und 18 Tonnen pro Jahr, wobei letzterer Wert 1,6 Tonnen über den durchschnittlichen Gesamtemissionen deutscher StaatsbürgerInnen liegt. Dabei sind die Quellen dieser Emissionen vielfältig. Vor allem Flugreisen und der Stromverbrauch in Laboratorien verursachen einen Großteil des entstehenden Treibhausgasausstoßes (ALLEA, 2022). Dies konnte auch in eigenen Messungen im Projekt bestätigt werden (vgl. Harte Fakten der Stromverbrauch von Laborsystem und deren Ermittlung). Die vielen Großgeräte tragen weiter zum nicht geringen CO₂-Fußabdruck von Laboratorien bei. Zudem ist der kontinuierlich ansteigende Plastikverbrauch in Laboratorien angesichts der globalen Müllproblematik von zentraler Bedeutung (Farley & Nicolet, 2023). Nach den internen Berechnungen von Urbina et al. (2015) war bereits eine einzelne biologische Fakultät im Jahr 2014 für 267 Tonnen Plastikabfall verantwortlich. Eine weltweite Hochrechnung der geschätzten 20.500 Forschungsinstitutionen übersetzt sich somit in 5,5 Millionen Tonnen Kunststoffabfälle.

Die oben beschriebene Situation und die Tatsache, dass über 80 % der Hochschulen in Deutschland naturwissenschaftliche Labore betreiben, deren Betrieb Auswirkungen auf die Umwelt hat, und die Datenlücke in diesem Bereich legen nahe, dass dringender Handlungsbedarf besteht, um die derzeitigen Trends zu ändern.

DAS NACHLABS PROJEKT

Das Projekt „**Verringerung der Umweltauswirkungen und Verbesserung der Nachhaltigkeit in Laboren deutscher Hochschulen**“, kurz: NachLabs, ist ein Forschungsprojekt, welches sich mit der Verbesserung der benannten Nachhaltigkeitsproblematik in Hochschullaboren beschäftigte. Das Projekt konnte dank der Förderung der **Deutschen Bundesstiftung Umwelt** im Zeitraum vom 27.11.2022 bis zum 30.12.2024 durchgeführt werden. Die Förderung der DBU betrug 317.569,00 €.

Das Verbundprojekt setzt sich aus drei Partnerinstitutionen und einer assoziierten Partnerinstitution zusammen, welche jeweils für unterschiedliche Teilbereiche im Projekt zuständig waren: (a) die **Hochschule für Angewandte Wissenschaften (HAW)** Hamburg koordinierte den Gesamtverbund und war für Projektmanagement, Öffentlichkeitsarbeit und das Forschungsmodul 2 zuständig, (b) die **Technische Universität (TU) Darmstadt** spezialisierte sich zusammen mit dem assoziierten Partner **NIUB-Nachhaltigkeitsberatung** auf die Zertifizierungsprogramme, und (c) das **Institut für Umwelt & Energie, Technik & Analytik (IUTA) e. V.** legte den Fokus auf Miniaturisierung.



Abbildung 2: Das Projektteam. Linkes Bild: Projekttreffen im November 2023 am IUTA e. V., rechtes Bild: Vorstellung von Projektergebnissen im Juni 2024 auf der Woche der Umwelt im Schloss Bellevue.

Das Projekt NachLabs verfolgte die folgenden drei Hauptziele:

- die Untersuchung der Umweltauswirkungen naturwissenschaftlicher Labore
- die Erarbeitung von Möglichkeiten, den Ressourcenverbrauch und damit die Umweltauswirkungen zu minimieren
- die Laborarbeit insgesamt nachhaltiger zu gestalten

Dazu wurden zunächst diejenigen Vorgänge analysiert, die generell zu hohen Energie-, Wasser-, Chemikalien- und Materialeinsätzen (v.a. Einmalplastik) führen. Anschließend wurden konkrete Möglichkeiten zur Optimierung erarbeitet und bewertet. Durch diese Maßnahmen soll der Verbrauch von Ressourcen minimiert und der individuelle CO₂-Fußabdruck der Labore reduziert werden. Die erarbeiteten Vorgehensweisen und Maßnahmen werden anderen Hochschulen und Forschungseinrichtungen zur Verfügung gestellt.

Schließlich sollen durch die Schaffung ideeller Anreize nachhaltige Arbeitsweisen gefördert und langfristig implementiert werden. Des Weiteren soll ein Netzwerk etabliert werden, welches die Akteure miteinander verbindet und den Austausch ermöglicht.

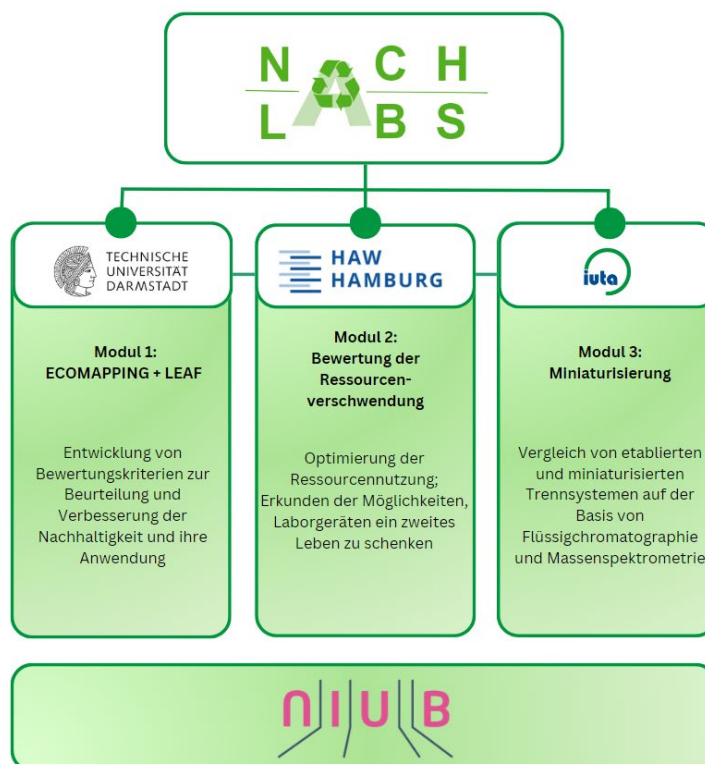


Abbildung 3: Modulaufbau NachLabs.

Um diese Zielsetzung zu erreichen, setzt sich das Projekt aus drei Forschungsmodulen zusammen, welche jeweils aus einer bestimmten Perspektive auf die Problematik der Umweltauswirkungen von Laboren schauen und sich dabei ergänzen.

FORSCHUNGSMODUL 1: ZERTIFIZIERUNGSPROGRAMME

Das Forschungsmodul 1: "Nachhaltige Labore über ECOMAPPING® + LEAF" beschäftigt sich mit den Methoden eines Laborspezifischen Assessments unter Umwelt- und Nachhaltigkeitsaspekten. Unter der Leitung der Technischen Universität Darmstadt wurden auf Grundlage der Ecomapping®-Methode und der LEAF-Zertifizierung eine Methodik erarbeitet, die alle relevanten Aspekte einer nachhaltigen Laboararbeit einschließt, wodurch Schwächen der einzelnen Methoden ausgeglichen werden.

FORSCHUNGSMODUL 2: STUDIE AN DEUTSCHEN HOCHSCHULEN

Das Forschungsmodul 2: "Ressourcenverschwendung in Laboren" konzentriert sich auf die Prozesse innerhalb der Labore, mit einem Fokus auf den Lehrbetrieb in Hochschullaboren. Hierzu ist eine Online-Umfrage durchgeführt worden, über die Studierende und Lehrende angesprochen werden zu Fragen des Bewusstseins über Nachhaltigkeit in Laboren sowie auch konkreten Aktivitäten. Diese öffentliche Umfrage wird ergänzt durch leitfadengeführte Interviews an Case Studies des Projekts.

FORSCHUNGSMODUL 3: MINIATURISIERUNG

Das Forschungsmodul 3: "Nachhaltigkeit durch Miniaturisierung" umfasste Aktivitäten zur Erhebung von Kenndaten zur Miniaturisierung sowie den Vergleich konventioneller und miniaturisierter Technologien durch das IUTA. Ein besonderer Schwerpunkt lag dabei auf der Untersuchung von Chromatographie- und Massenspektrometrie Verfahren. Ziel der Arbeiten ist es, Hürden für die Implementierung miniaturisierter Technologien im universitären Bereich zu reduzieren und so deren breitere Nutzung zu fördern.

ERKENNTNISSE AUS DER HOCHSCHULLANDSCHAFT: DER STATUS QUO DEUTSCHER HOCHSCHULEN

Um bedarfsgerechte Handlungsempfehlungen zu entwerfen, ist die Erfassung des Status Quo essenziell. Hierfür diente das Forschungsmodul 2 im NachLabs Projekt.

METHODIK

Für die Ermittlung des Status Quo an deutschen Hochschullaboren zum Thema Nachhaltigkeit wurde ein Mixed-Methods Ansatz angewendet.

a) Umfrage: Quantitative Daten wurden mittels einer bundesweiten Onlineumfrage erhoben, die vom 28.09.2023 bis zum 30.06.2024 durchgeführt wurde. Insgesamt 81 ProbandInnen nahmen an der Umfrage teil. Die Daten dieser Umfrage wurden anschließend mithilfe deskriptiver sowie analytischer Statistik analysiert.

b) Interviews: Ergänzend wurden qualitative Interviews geführt, welche detailreichere Einblicke in die Hochschullandschaft boten. Die 20 ProbandInnen waren mehrheitlich LaborleiterInnen und Mitarbeitende und stammten aus insgesamt 14 unterschiedlichen Laboren bzw. Arbeitsgruppen. In den Interviews wurden verschiedene Aspekte behandelt, wie z. B. Ausstattung des Labors, Materialien, Reagenzien, Geräte, Beschaffung, die Integration von Nachhaltigkeit und Transparenz, Abfallmanagement, die Sensibilisierung für Nachhaltigkeit bei Mitarbeitenden und Studierenden sowie die Barrieren für mehr Nachhaltigkeit. Dieser Mixed-Methods-Ansatz kombiniert somit die Vorteile quantitativer Breite mit qualitativer Tiefe, um ein umfassenderes Bild der aktuellen Situation in der Hochschullandschaft zu zeichnen, die im Folgenden dargestellt wird.

ERGEBNISSE

Die Stichprobe im quantitativen Teil umfasst rund **81 ProbandInnen aus deutschen Hochschullaboren**, wovon sich 51 % als männlich und 43 % als weiblich identifizieren. Der höchste Bildungsabschluss der ProbandInnen war Master (40 %), gefolgt von Promotion (17 %), (Fach-)Abitur (14 %), und Bachelor (11 %). Werden die Fachbereiche betrachtet, sind überwiegend Chemie (53 %) und Biologie (17 %) vertreten, die verbleibenden Personen teilen sich in die Kategorie ‚Sonstiges‘, Physik, oder Medizin auf (20 %, 6 %, 4 %). Der Großteil der ProbandInnen ist in einer öffentlichen Institution verortet (91 %), nur eine Minderheit arbeitet in privaten Institutionen (9 %). Auf die Frage nach der primären Rolle am Institut ordneten sich rund ein Drittel zu den Labormitarbeitenden (33 %), ein Drittel zu den Forschenden (32 %), und ein weiteres Drittel jeweils zu Studierenden (14 %), Lehrenden (5 %), und mehrerer dieser Kategorien (‚Sonstiges‘, 16 %) zu (siehe Abb. 4).

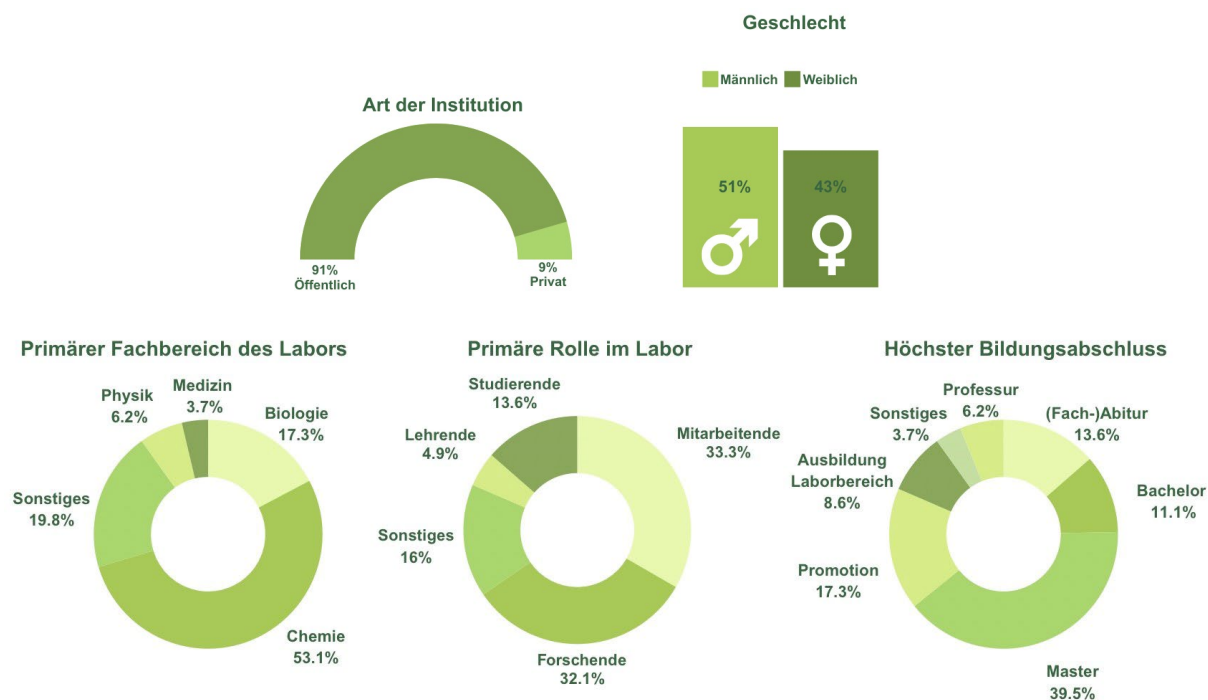


Abbildung 4: Demografische Daten der ProbandInnen aus der Onlineumfrage.

Im Folgenden ist eine Übersicht der Schlüsselbefunde zu den verschiedenen Kernbereichen im Labor zu finden, fokussiert auf die zuvor definierten Kernbereiche.

MATERIALIEN UND REAGENZIEN

Ein grundlegender Bereich in den Laboren sind die Materialien und Reagenzien, welche für die Lehre und Forschung verwendet werden. Auf die Frage nach einer Veränderung des Ressourcenverbrauchs in den letzten Jahren gab fast die Hälfte (49 %) der ProbandInnen an, dass dieser gleichgeblieben ist, bei rund einem Drittel (29 %) ist er leicht angestiegen, bei einer Minderheit (19 %) ist er leicht abgesunken. Der Ressourcenverbrauch verändert sich laut diesen Ergebnissen über die letzten Jahre damit nicht erheblich in den deutschen Hochschullaboren.

Um Forschung und Lehre durchzuführen, können eine große Auswahl an Materialien verwendet werden – während einige davon spezifisch auf die Forschungsrichtung angepasst sind, gibt es andere Einweg-Materialien, die über die Grenzen einer Fachrichtung hinweg Einsatz finden, wie bspw. Einmalhandschuhe oder allgemein jegliche Art von Folie. Im Rahmen der Analyse wurden die ProbandInnen gefragt, den Verbrauch dieser Materialien selbst einzuschätzen. Wird dieser geschätzte Verbrauch von Einwegmaterialien betrachtet, so ist festzustellen, dass einige ausgewählte Materialien durchweg einen **hohen Verbrauch** aufweisen. Zu den sechs Artikeln mit dem höchsten geschätzten Verbrauch gehören Einmalhandschuhe, Einwegbehälter, Folie, Multichannel Pipette Reservoirs, und Wiegeschälchen (s. Abb. 4).

Für einige dieser Materialien gibt es erst seit wenigen Jahren die Anstrengungen von HerstellerInnen, diese aus biobasierten Kunststoffen herzustellen. Biobasierte Kunststoffe können uns weg von fossilbasierten Ressourcen und hin zu einer Kreislaufwirtschaft führen. Allerdings muss die Art der Ressource genau betrachtet werden. Kunststoffe der sogenannten ersten Generation werden aus Pflanzen, wie Mais, Zuckerrohr oder Zuckerrüben hergestellt. Die daraus hergestellten Kunststoffe haben im Regelfall eher keine bessere Umweltbilanz, da nur eine Verschiebung der Umweltauswirkungen stattfindet, die Gesamtauswirkungen aber oftmals gleichbleiben. Zwar sind die CO₂-Emissionen verringert, gleichzeitig kommt es aber zu anderen Umweltauswirkungen bei Anbau und Ernte der Pflanzen, wie beispielsweise Düngung und damit verbundene Eutrophierung, Änderung der Landnutzung oder die Gefahr der

Monokultur, die einen negativen Einfluss auf die Biodiversität hat (beispielsweise im Maisanbau). Auch das Umweltbundesamt bewertet biobasierte Kunststoffe nicht unbedingt besser als fossilbasierte¹.

Kunststoffe der sogenannten zweiten Generation werden aus Reststoffen, wie beispielsweise Lebensmittelabfällen hergestellt. Die oben erwähnte Verschiebung der Umweltauswirkungen aufgrund der Nutzung von Pflanzen für die Polymerproduktion entfällt hierbei, allerdings ist auch hier der Aufwand für die Produktion nicht zu unterschätzen. Eppendorf hat als einer der ersten Hersteller eine Lebenszyklusanalyse und einen Carbon Footprint für eines ihrer Produkte (5 mL-Tube) berechnet². Danach sind in diesem Fall die CO₂-Emissionen dominierend, andere Auswirkungen wie Ökotoxizität sind im Vergleich dazu sehr gering. Bei einer Änderung auf ein komplett biobasiertes Produkt wird in diesem Fall die Verringerung der CO₂-Emissionen auf 27 % geschätzt. Bei der Auswahl von biobasierten Produkten sollte daher im Detail geschaut werden, aus welchen Rohstoffen der Kunststoff gewonnen wird und die Umweltbelastung mit umfassenden Daten belegt sein. Daher zeigt sich bis dato (2024), dass die **Wiederverwendung der Materialien**, wenn immer möglich, eine **nachhaltige Alternative** birgt (Farley & Nicolet, 2023).

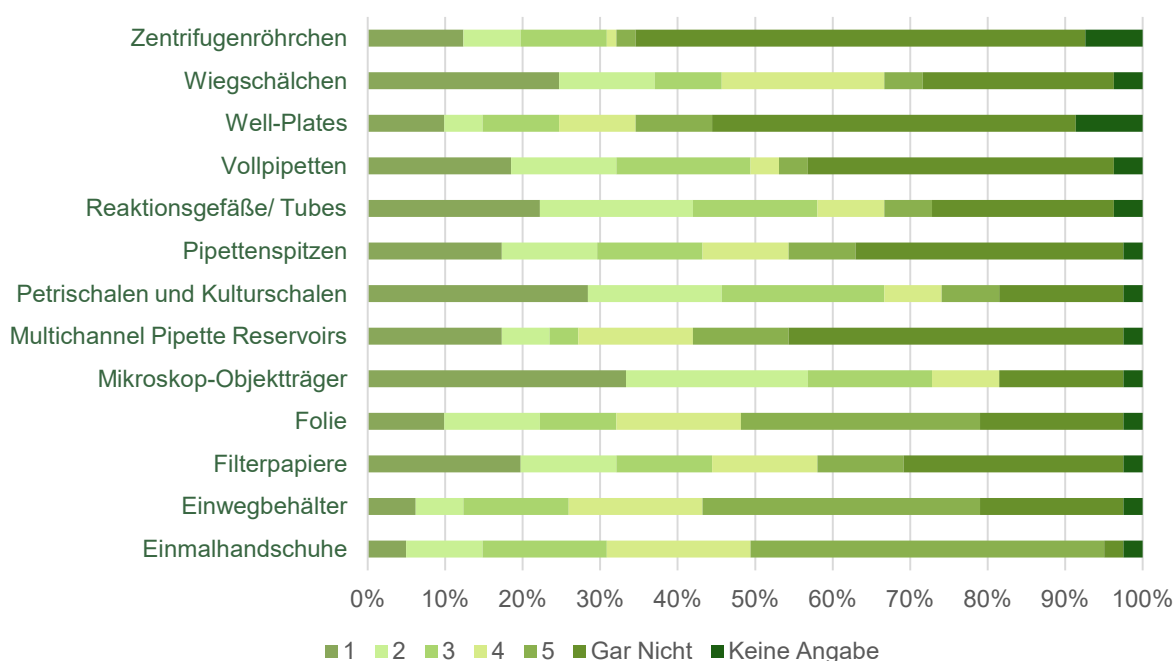


Abbildung 5: Geschätzter Verbrauch von Einwegmaterialien, gewertet von 1 (geringe Nutzung) bis 5 (häufige Nutzung).

Bereits ein Drittel der Befragten (35 %), gab an, dass sogar Einwegartikel in ihrem Labor mehrfach verwendet werden, ggf. nach Reinigung oder Autoklavierung. Das waren unter anderem die folgenden Materialien:

Pipettenspitzen, Wägeschälchen, Reagenzgläser, Einwegspritzen, Petrischalen, Glasfläschchen, Pasteurpipetten, Probenröhrchen, Einweghandschuhe, Einweg-Laborkittel, Zellkultur-Gefäße, Einwegspatel, Objektträger, Einwegelektroden, Alufolie, Probengefäße.

Ein weiterer Punkt sind die verwendeten Reagenzien, welche stark vom Forschungsschwerpunkt des Labors abhängen. Insbesondere die Reagenzien, die als **Gefahrstoffe** klassifiziert sind, stellen bei unsachgemäßer Handhabung und Entsorgung ein **erhebliches Risiko für die Gesundheit von Menschen sowie für die Umwelt** dar (United Nations, 2021). Dabei gaben rund 45 % der ProbandInnen an, Gefahrenstoffe zu verwenden, da keine Alternative möglich ist, 24 % da der Umgang im Lehrbetrieb

¹ <https://www.umweltbundesamt.de/biobasierte-biologisch-abbaubare-kunststoffe#22-sind-biobasierte-kunststoffe-nachhaltiger-als-konventionelle-kunststoffe>

² https://www.eppendorf.com/product-media/doc/en/11622498/Sustainability_White-Paper_093_Sustainability_Tubes-5-mL-LCA_Life-Cycle-Analysis5-mL-Tube-Insights-into-Environmental-Impacts-Learnings.pdf

vorgesehen ist, und 20 % da keine Alternative bekannt ist. Auch die Interviews zeigten, dass der Umgang mit Gefahrenstoffe in einem gewissen Maße vor allem die Studierenden den Umgang mit diesen lehrt:

„Manche Sachen kann man aber gar nicht ersetzen, weil man dann den ganzen Versuch nicht machen kann.“ (03)

„Warum muss man dem Studierenden irgendwas Giftiges in die Hand drücken, nur damit er einmal damit gearbeitet hat [...] Weil wenn die Studierenden nachher in Firmen gehen, [...] dann werden die vorher dafür sensibilisiert [...]“ (02)

„[...] sie (die Studierenden) sollen sich ja auch nicht schädigen, aber sie sollen natürlich auch einen sauberen Umgang mitlernen, einen rücksichtsvollen Umgang [...]. Und wie lernt man das, wenn man jetzt, wie gesagt, nur mit verdünnter, ich sag mal, auch Essigsäure arbeitet [...] Und eben auch unter dem Abzug arbeiten, das ist schon wichtig.“ (03)

„Ja teilweise gar nicht so einfach ist, weil die Stoffe, die man da verwendet, vielleicht in der Handhabung weniger gefährlich sind, in der Beseitigung aber dann vielleicht sogar nachteiliger [...]“ (05)

„Ansonsten, ja, in der Zellkultur kann man auch nicht wirklich viel anders ersetzen. [...] Don't change your running system läuft manchmal hier im Labor. Klingt jetzt schlimm, wir versuchen unser Bestes. Bei neuen Protokollen kann man immer schauen, aber bei Altbewährtem schwierig.“ (04)

Ein **kompletter Verzicht** auf Gefahrstoffe scheint im Forschungsbereich **bisher nicht möglich**, und im Studienalltag ebenfalls eher unrealistisch, auch wenn dieser nach der Abfall-Hierarchie (§ 6 Kreislaufwirtschaftsgesetz) die wirksamste Maßnahme wäre, um die Umweltauswirkungen zu minimieren (O'Neil et al., 2020). Daher ist es von größter Bedeutung, bei Benutzung von Gefahrstoffen, **geeignete Sicherheitsmaßnahmen** zu ergreifen und die Vorschriften zur sicheren Handhabung dieser Substanzen strikt einzuhalten.

Zusätzlich war es im Kontext des Ressourcenverbrauchs von Interesse zu erfahren, wie viele der ProbandInnen bereits ein Monitoring des Verbrauchs durchgeführt und entsprechende Daten erfasst haben. Die Ergebnisse der Umfrage zeigen, dass weniger als ein Viertel der ProbandInnen Daten bezüglich ihres Ressourcenverbrauchs erheben (23 %). Dieses Viertel erhob Daten vor allem im Bereich Strom (78,6 %) – die Aspekte Wasser, Reagenzien und Einwegmaterialien werden tendenziell eher selten erhoben (35,7 %). Diese Zahlen zeigen einen deutlichen Verbesserungsbedarf auf. Daten müssen besser erhoben werden und gleichzeitig verfügbarer sein, sodass der Ressourcenverbrauch umfassend dokumentiert werden kann und gleichzeitig die Wirksamkeit von Nachhaltigkeitsmaßnahmen quantifiziert wird. Die konkreten Zahlen machen den Ressourcenverbrauch fassbarer und ersetzen damit ein abstraktes Konzept durch klare, nachvollziehbare Daten. Die Heterogenität der Labore erschwert es, einheitliche Richtlinien zu formulieren. Dennoch lassen sich die einzelnen, grundlegenden Aspekte gruppieren, und sich auf verschiedene Fachrichtungen anwenden.

Aus der Analyse und entsprechender Bewertung ergaben sich die folgenden konkreten Handlungsempfehlungen:

- Einwegmaterialien identifizieren, welche sich, in Übereinstimmung mit den vorherrschenden Sicherheitsvorkehrungen, wiederverwenden lassen.
- Nach nachhaltigen Alternativen für geplante Versuche in vorhandenen Ressourcen recherchieren, z. B. für das organische chemische Praktikum.

GERÄTE UND ENERGIEVERBRÄUCHE

Unterschiedliche Gerätschaften sind zentrale Elemente in Laboratorien allgemein, und daher auch in Hochschul-Laboren. Es gibt viele Geräte, die für eine eventuelle Nutzung im Labor vorgehalten werden. Dabei muss klar zwischen verschiedenen Gerätegattungen unterschieden werden, wenn auf die Nutzung und den Aufwand zur Bereitstellung eingegangen werden soll. Im NachLabs Projekt wurden 14 verschiedene Gerätegattungen ausgewählt für eine Untersuchung der Nutzungszeiten und die ProbandInnen gemäß eigener Angaben in sieben unterschiedliche NutzerInnengruppen geteilt. Die Gerätegattungen sind in Abbildung 5 als Diagramm dargestellt. Die ProbandInnen der Umfrage haben in einer Selbstauskunft ihren eigenen Hintergrund angegeben und wurden entsprechend kategorisiert. Aus der im Kapitel „Ergebnisse“ genannten Aufteilung in NutzerInnengruppen ergibt sich, dass fünf von sieben Gruppen einen direkten Chemie-Bezug besitzen (ca. 60 %). Die Unterscheidung erlaubt es, Verzerrungen durch die 40 % Rückmeldungen ohne Chemie-Bezug auszugliedern und Einblicke in einzelne chemische Unterdisziplinen zu bekommen.

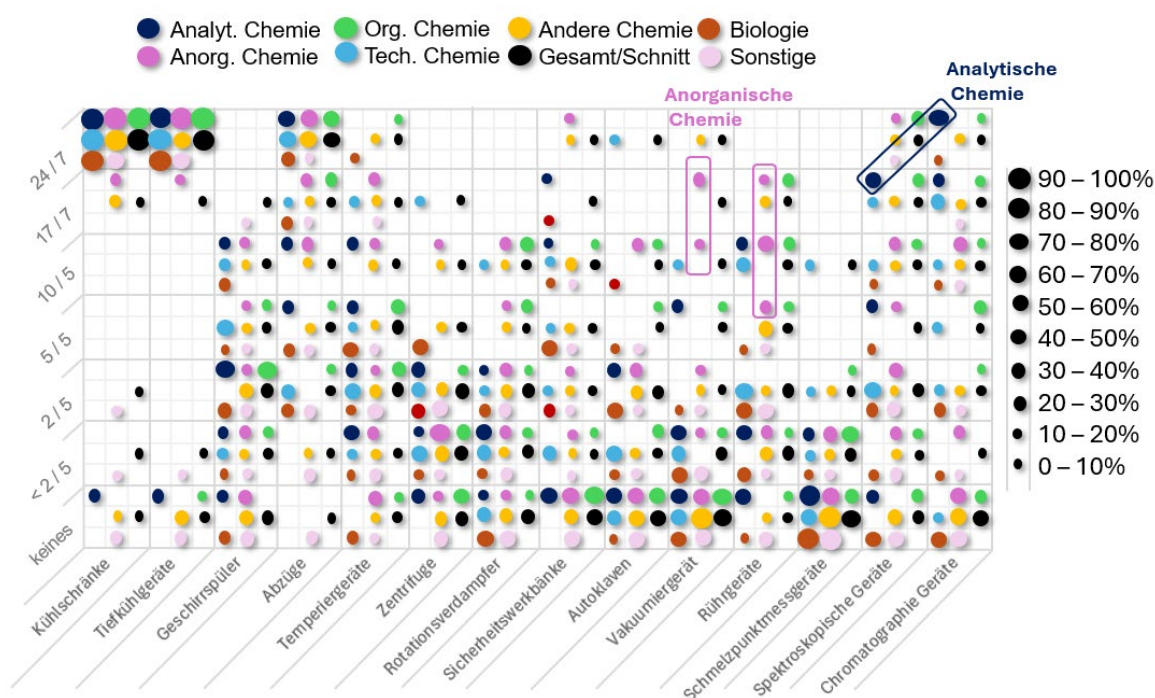


Abbildung 6: Die 14 Gerätegattungen (X-Achse) mit der geschätzten wöchentlichen Nutzungsdauer in Stunden (Y-Achse), über alle NutzerInnengruppen hinweg (schwarz) und nach sieben verschiedenen NutzerInnengruppen (in Farbe) aufgelöst.

Spektroskopische und chromatographische Geräte werden überdurchschnittlich häufig in der analytischen Chemie eingesetzt, in manchen Laboren laut Schätzungen sogar kontinuierlich. Rührgeräte und Vakuumiergeräte werden überdurchschnittlich häufig in der anorganischen Chemie genutzt. Einzelne Gattungen sind besonders energieintensiv, allen voran bestimmte Großgeräte wie z.B. Massenspektrometer (z.B. Gerät 12 - 14, rechts im Diagramm). Diese dürfen häufig nicht vollkommen abgeschaltet werden. Hierdurch entsteht das Problem, dass Geräte unter Umständen wochenlang ungenutzt im Leerlauf bzw. im *Stand-by-Modus* laufen und weiterhin Strom beziehen.

Nachhaltigkeit hat bei Geräten zwei unterschiedliche Dimensionen. Einerseits spielt der Gesamtstromverbrauch eine wichtige Rolle, dieser setzt sich aus herstellerspezifischen Spezifikationen und dem Anwenderverhalten zusammen. Auf die Spezifikationen hat in erster Linie der Hersteller einen Einfluss, basierend auf dem Design des Gerätes. Da viele Laborgeräte durch geforderte Sicherheitsprüfungen und Konformitätsbewertungen (vorerst) von der EU-Ökodesign-Verordnung ausgeklammert werden (wie auch quasi alle Geräte für die Medizintechnik), sind es branchenseitig vor

allem Selbstauflagen. Die andere Seite ist der Bedarf, wobei Unternehmen durch die Richtlinie (EU) 2022/2464 hinsichtlich der Nachhaltigkeitsberichterstattung von Unternehmen den Fußabdruck der beschafften Labortechnik in ihre Emissionen einrechnen müssen (siehe hierzu auch das Kapitel zu Beschaffung). Ist die Technik bereits im Labor vorhanden, ist der Austausch mit einem nachhaltigeren Modell meist keine nachhaltige Option, da es unnötige Ressourcenverbräuche generieren würde. In diesem Fall stellt das NutzerInnenverhalten eine Möglichkeit der Einsparung am Gesamtstromverbrauch dar. Tiefkühlgeräte, die an sonnenbeschienenen Orten im Labor stehen und häufig bzw. lange geöffnet werden, haben einen deutlich höheren Gesamtstromverbrauch, genauso Abzüge, die unnötigerweise (weit) geöffnet sind, was den Volumenstrom signifikant erhöht. Autoklaven sollten effizient befüllt und nur vollständig beladen betrieben werden, was Energie- und Wasserverbräuche vermindert und gleichzeitig die Zahl der Autoklaviervorgänge reduziert. Zu den Stromverbräuchen und möglichen Einsparungen durch Miniaturisierung siehe auch das Kapitel Miniaturisierung. Wie unter „Awareness“ weiter ausgeführt gibt es auch bereits erfolgreiche Maßnahmen, die an die korrekte Anwendung von Geräten erinnern, z.B. bei Abzügen mit der Initiative „Shut the Sash“ (Gilly, 2023).

In sogenannten DryLabs, Büroräumen für die Auswertung und Verarbeitung von Laborergebnissen, liegt der Fokus auf IT-Technik, es gelten hier die Regeln für Büro- und Bildschirmarbeitsplätze. Interessant ist hier die Vielfalt an Modellen der gleichen Produktgattung, die bei nahezu identischen Kernparametern sehr verschiedene Stromverbräuche aufweisen können. Generell benötigen Notebooks durch ihre Optimierung auf Batteriebetrieb weniger Strom und sind optimierter auf Anwendungen generell (Ausnahme sind sogenannte Gaming Notebooks, die eher selten als Büro/Laborgeräte zur Wahl stehen). Mobile externe Bildschirme können heutzutage über eine PowerBank betrieben werden und besitzen die Energieklasse A, verglichen mit den meisten fest aufzustellenden Bildschirmen, die meist zwischen Energieklasse C und E liegen. Eine Ausstattung als mobiles „Trockenlabor“ kann daher den Stromverbrauch signifikant reduzieren.

Die zweite Dimension zur Nachhaltigkeit bei Geräten ist der Lebenszyklus einzelner Geräte. Funktionierende Geräte durch energieeffizientere Alternativen zu ersetzen hat zwar einen Einfluss auf die Stromrechnung, wird aber durch die Produktion und Entsorgung einen großen Fußabdruck hinterlassen. Die Weiternutzung des auszutauschenden Gerätes als Notfallbackup kann hier die Einflüsse auf den Fußabdruck reduzieren. Bei Tiefkühlgeräten sollte z.B. ein energieeffizientes Gerät den 24/7 Betrieb übernehmen, während das „schlechtere“ Gerät als Backup bzw. im periodenweise genutzten Betrieb am Standort verbleiben kann. Dies kann eventuell auch durch Untersuchung des Anwenderverhaltens verschiedener Labore an einem Standort laborübergreifend erfolgen (siehe auch das Kapitel zu second Life von Geräten). Sollte die Untersuchung des Anwenderverhaltens ergeben, dass benötigte Gerätegattungen bereits am Standort existieren, so sollte eine mögliche gemeinsame Nutzung vor einer Neuanschaffung geprüft werden. Genauso können eventuell auch im Zuge einer gemeinsamen effizienteren Nutzung von Geräten einzelne Geräte an einem Standort aufgegeben und dem Second Hand Markt von Laborgeräten zugeführt werden.

Handlungsempfehlungen:

Energieverbräuche von Geräten können durch eine sinnvolle Beschaffung bereits außerhalb des eigentlichen Labors nachhaltig reduziert werden. Vorhandene Geräte können über das Anwendungsverhalten auf effiziente Nutzung und unnötige Redundanz geprüft werden.

SECOND-LIFE VON LABORGERÄTEN

Ein zweites Leben für Laborgeräte ist eine nachhaltige Maßnahme, um den Lebenszyklus eines Gerätes zu verlängern. Während je nach Gerätegattung und Stromverbrauch der Gesamtfußabdruck des weiter genutzten Gerätes moderat ansteigt, wäre ein vorzeitiges Aussortieren und Entsorgen schlecht für die Kosten-Nutzen Bilanz des Gerätes und in vielen Fällen wird ein neues Gerät mit wieder neuen Produktionskosten und entsprechendem Fußabdruck benötigt. Die Verlängerung des Lebenszyklus kann hierbei auf unterschiedlichen Wegen funktionieren.

In kommerziellen Forschungs- und Prüflaboren besteht hin und wieder die Notwendigkeit, im Zuge von sich ändernden Laborstandards, einzelne Geräte auszuwechseln. Die hierbei noch voll funktionsfähigen alten Geräte können im Fall einer gut strukturierten und nachhaltigen Wirtschaft einem zweiten Weg durch Generalüberholung und Neuverkauf gehen. Für Labore, deren Laborstandards anders sind, können diese generalüberholten Geräte ein sinnvoller und preisgünstiger Ersatz für Geräte sein, die am Ende ihres Lebenszyklus angekommen sind.

Der Second Hand Markt von Laborgeräten wird global betrachtet auf 2-3 % aller Gerätekäufe geschätzt, was ca. 2 Milliarden US-Dollar jährlich entspricht (C&EN, 2024). Hierbei teilt sich das Feld auf in unterschiedliche Kategorien: a) fachlich qualifizierte Unternehmen, die alte Geräte aufkaufen, generalüberholen und neu zertifizieren, bevor sie wieder in den Verkauf gehen (zunehmend machen dies auch originale Hersteller) oder b) unqualifizierte Unternehmen, bei denen der Zustand der Produkte ungewiss ist. Für Hochschullabore ist dieser Second Hand Markt vorwiegend als Low-Budget Option für die Anschaffung von Geräten interessant, weniger als Zielgruppe für den Verkauf existierender Geräte (siehe Abbildung 7).

„Wie lange nach Anschaffung nutzen Sie ihre Geräte in der Regel?“	Hochwertige Mess- und Labortechnik	
	100% möglichst lange Nutzung der Gerätschaften 78%: Labore kommunizieren mit Hersteller, um nicht funktionierende Geräte in Stand zu setzen. 22%: Laboren bauen mit Werkstätten Ersatzteile nach, um Geräte am Leben zu halten.	0% : Geräte werden vorzeitig durch neue ersetzt. 22%: Labore besitzen generelle Service-Verträge mit Herstellern zur Instandhaltung d. Geräte.
„Was sind die häufigsten Gründe für eine Neuanschaffung?“	Unterstützende Laborgeräte (z.B. Kühl- und Gefrierschränke)	
	85%: möglichst lange Nutzung der Gerätschaften	15%: Labore hatten innerhalb der letzten Jahre neue Technik bekommen
„Haben Sie einen Ablauf, um Geräte nach Ihrer Nutzungszeit weiterzugeben?“	85%: Falls trotz aller möglichen Maßnahmen kein zuverlässiger Betrieb des Gerätes mehr sichergestellt werden kann.	15%: Austausch von unterstützenden Laborgeräten sind sinnvoll aus Sicht des Stromverbrauchs. 7%: Neubau bzw. Erweiterung des Labors
	78%: Es existieren keine festen Strukturen, um Geräte weiterzugeben (Gerätebörse). 78%: Geräte wurden über direkten Austausch und E-Mail innerhalb der Hochschule weitergegeben.	22%: Gerätepark an der eigenen Hochschule, über den die Abgabe und Akquise von Geräten läuft.

Abbildung 7: Interviewergebnisse bezüglich Second-Life bei Geräten.

Auch wenn eigene Erfahrungen aus dem Konsortium anderes erwarten ließen, hat sich in den NachLabs Interviews gezeigt, dass Hochschullabore zu denen gehören, die bestehende Labortechnik mit allen zur Verfügung stehenden Mitteln weiter betreiben, da Beschaffungsprozesse langwierig und Ersatzgeräte teuer sind. Aus Abbildung 6 wird ersichtlich, dass alle 14 interviewten Labore bei hochwertiger Labortechnik vor diesem Problem stehen, bei 12 von 14 trifft dies auch auf unterstützende Geräte wie Kühlschränke, Waagen und Rührgeräte zu. Hieraus ergibt sich auch, dass die meisten

Hochschulen keinen Bedarf für eine Gerätebörse haben (11 von 14 Laboren wissen von erfolgreichem direktem Austausch der freiwerdenden Geräte innerhalb der Hochschule). In drei Laboren der gleichen Hochschule wurde von einem bestehenden Gerätepark berichtet, bei dem einzelne Geräten auf Zeit an Labore gegeben werden.

Eine weitere Art, den Lebenszyklus von Geräten zu verlängern ist, wie in Hochschullaboren zumeist bereits betrieben, durch Pflege, Wartung und Reparatur ein Gerät möglichst lange am Laufen zu halten. Dies wird vor allem am Ende eines geplanten Lebenszyklus kompliziert, wenn der Hersteller die Wartung einstellt, Ersatzteile nicht mehr vorrätig hat und auch die Expertise zu den spezifischen Eigenschaften des Gerätemodells nicht mehr vorhanden ist. Mehrere Labore greifen dann auf eigene Werkstätten zurück, um möglichst gleichwertige Ersatzteile für die Geräte selbst herzustellen. Diese nicht von Herstellerseite gelieferten Ersatzteile können häufig zu weitergehenden Problemen führen³. Die **Ökodesign-Verordnung** mit den erhöhten Ansprüchen an Reparierbarkeit und Aufrüstbarkeit setzt neue Akzente in der Entwicklung von Laborgeräten, die unter **die General Laboratory Use (GLU)** Regulatorik fallen, sie wird aber bei vielen unter die Gefahrstoff- oder Medizintechnik-Gesetzgebung fallenden Geräten aufgrund von Sicherheitsbedenken vorerst ausgesetzt.

Die Regulatorik von Laborgeräten ist nicht immer eindeutig, da manche Geräte unter die Medizintechnik-Regulatorik fallen, sobald diese Geräte in der medizinischen Praxis angewendet werden können, bzw. sogar darauf ausgelegt sind. Daneben gibt es die **General Laboratory Use (GLU)** Regulatorik, die geringere Auflagen an die Beschaffenheit der Geräte stellt, vor allem bei Konformitätsbewertungen bezüglich Sicherheit. Für die Forschung gibt es auch Geräte mit **Research Use Only (RUO)** Label, die noch geringeren Auflagen unterliegen. Hieraus ergibt sich eine Herausforderung für Laborleitende, da diese in der Verantwortung stehen, je nach geplanter Anwendung das Gerät mit der passenden Regulatorik im Labor zu haben. Grade in medizinisch geprägten Forschungslaboren kann hier der Fall eintreten, dass drei Geräte der gleichen Gattung mit jeweils unterschiedlicher Regulatorik zu finden sind.

Handlungsempfehlungen:

Die Verlängerung des Lebenszyklus von Geräten hat eine nachhaltige Wirkung, solange Sicherheit und Zuverlässigkeit gewährleistet werden können. Daher wäre der beste Weg eine möglichst lange qualifizierte Betreuung der Geräte durch den Hersteller. Solange Laborgeräte nicht in die Ökodesign-Verordnung implementiert sind, ist eine branchenseitige Selbstverpflichtung die beste Chance, die Langlebigkeit und Weiternutzung von Geräten zu bewahren. Hausseitige Reparaturen sollten auf ihren möglichen Einfluss auf Sicherheit und Zuverlässigkeit hin geprüft werden. Ein funktionierender Second Hand Markt für Geräte, der in den Beschaffungsprozessen explizit mitgedacht werden sollte, kann hier die Lösung für Geräte am Ende ihres Lebenszyklus sein.

³ <https://www.yamatoscale.co.uk/the-risks-of-using-pirate-spares-on-your-production-line-equipment/>

BESCHAFFUNG

Die Beschaffung (Paepe et al. 2023) neuer Materialien, Reagenzien und anderer Gegenstände ist für Laboratorien ein fortlaufender Prozess, welcher sicherstellt, dass alle erforderlichen Produkte für die Durchführung von Experimenten zur Verfügung stehen.

Haben Sie bei der Beschaffung von Geräten auf den Energieverbrauch geachtet?



Abbildung 8: Beachtung des Energieverbrauchs bei der Beschaffung von Geräten.

Hinsichtlich dieser Thematik wurde auf verschiedenen Ebenen untersucht, inwiefern die teilnehmenden Laboratorien sich um die Integration von Nachhaltigkeitsaspekten bei der Beschaffung bemühen.

Die ProbandInnen wurden zunächst zu ihrem Bewusstsein bezüglich des Energieverbrauchs bei der Anschaffung von neuen Geräten befragt. Über die Hälfte der Befragten (55 %) geben dabei an, nicht am Beschaffungsprozess beteiligt zu sein. Etwa ein Fünftel (21,25 %) berücksichtigt den Energieverbrauch, im Gegensatz dazu geben rund 16 % an, dies nicht zu tun (s. Abb. 8).

Meine Institution hat Anstrengungen im Bereich Sammelbestellungen/Beschaffung getätigt.

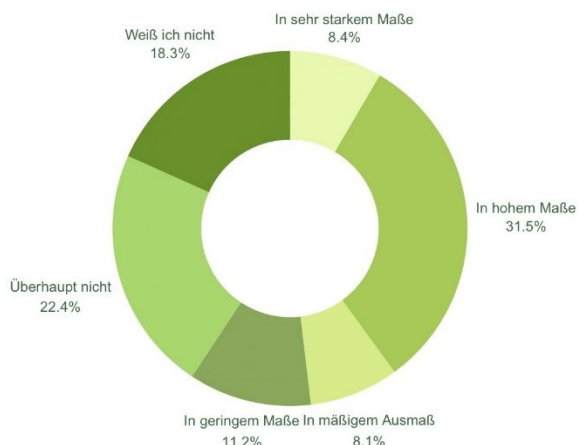


Abbildung 9: Institutionelle Bemühungen zwecks Sammelbestellungen und Beschaffungen.

Darüber hinaus beinhaltete die Umfrage Inhalt dazu, inwiefern Anstrengungen bezüglich Sammelbestellungen/der Beschaffung auf institutioneller Ebene getätigt werden. Rund ein Drittel (32 %) der Befragten geben an, dass solche Bemühungen in hohem Maße stattfinden, während 8,3 % von einem sehr hohen Maß sprechen. Mäßige Anstrengungen werden von 8,3 % der Befragten angegeben. Konträr dazu werden von 22 % überhaupt keine Anstrengungen wahrgenommen (s. Abb. 9).

Diese Ergebnisse weisen darauf hin, dass die Nachhaltigkeitsbemühungen im Beschaffungsbereich zwischen den verschiedenen Institutionen stark variieren. Zudem zeigen sie, dass es ein erhebliches Defizit an Wissen darüber gibt, wie die Prozesse ablaufen, und dass die EndverbraucherInnen oft nicht ausreichend in diese Prozesse eingebunden werden. Dies unterstreicht den Bedarf nach mehr **Transparenz in den hochschulinternen Prozessen**.

Bei den Beschaffungsprozessen liegt die Verantwortung entweder bei den Laboren selbst oder bei einer zentralen Stelle, die die benötigten Materialien und Reagenzien beschafft. Allerdings sind die Labore, je nach Fachbereich, teilweise auf spezifische Produkte angewiesen, welche ausschließlich bei ihnen eingesetzt werden oder eine kurze Haltbarkeit aufweisen. In solchen Fällen lassen sich kleinere Bestellungen nicht gänzlich vermeiden.

Es zeichnet sich außerdem ab, dass das Budget bei der Beschaffung eine zentrale Rolle spielt. Häufig orientieren sich die Verantwortlichen an den Produktpreisen im Sinne der Wirtschaftlichkeit, was zulasten der Nachhaltigkeit gehen kann:

„[...] aber wir haben ja natürlich nur ein begrenztes Budget [...], wenn das zu teuer wird und man vielleicht dadurch vielleicht andere Sachen sich nicht mehr anschaffen kann.“ (03)

„Aber wir sind schon immer noch viel so an die Wirtschaftlichkeit der ganzen Angebote mit gebunden.“ (06)

Eine weitere, vielfach thematisierte Herausforderung, ist der Zeitaufwand. Mitarbeitende berichten, dass der Vergleich von Produkten im Hinblick auf deren Nachhaltigkeit zeitintensiv ist, weshalb dieser Aspekt teilweise vernachlässigt werden muss:

„Da muss man jedes Produkt einzeln anschauen, gucken, suchen. Die Zeit haben wir nicht, [...] das würde ich mir vom Einkauf erwarten, dass die Alternative suchen und empfehlen, aber wir haben leider auch keine Kapazität davon.“ (04)

„Tatsächlich bei den meisten Sachen, die wir verwenden, [...] wüsste ich nicht, wie ich da nachhaltiger bestellen könnte, weil [...] egal, von welchem Hersteller ich sie kaufe, es sind nun mal Plastikgläser.“ (05)

Wenn die Ressourcen für einen nachhaltigeren Einkauf vorhanden sind, mangelt es den Befragten mitunter auch hier an Transparenz: Bei Produkten, die als nachhaltig beworben werden, fehlt eine klare Beschreibung, inwiefern diese den Versprechen gerecht werden. Es besteht der Wunsch nach offiziellen Siegeln, mit welchen Produkte, soweit sie bestimmte Standards bezüglich Nachhaltigkeitsaspekten erfüllen, zertifiziert werden.

„[...] bei nachhaltigen oder nachhaltigeren Produkten, dass die oftmals ein bisschen teurer sind und [...] es meistens gar nicht so ganz klar angegeben, was ist denn jetzt dieser Vorteil des Produktes? Da steht einfach nur das und das ist enthalten und das war es.“ (01)

„Ich finde auf den Webseiten von den Firmen ist sehr schwer nachzuvollziehen, was genau bei dem Produkt jetzt nachhaltig ist. [...] es gibt (manchmal) ein Ranking, aber was das genau für das Produkt XY bedeutet [...] ist schwierig herauszulesen.“ (04)

Die Beschaffung nachhaltiger Produkte ist grundsätzlich erstrebenswert, diese wird jedoch auch maßgeblich in öffentlichen Institutionen auf rechtlicher und politischer Ebene beeinflusst. So ist der Wunsch der Befragten nach offiziellen Siegeln zur Kennzeichnung umweltfreundlicher Produkte im Sinne der Transparenz nachvollziehbar. Allerdings besteht bei Siegeln und Begriffen wie **green**, **eco-friendly** oder **all natural** ein Risiko des Greenwashings (European Commission, 2023). Die EU plant deshalb ab Frühjahr 2026 verpflichtend innerhalb der Mitgliedsstaaten nachhaltige Labels stärker zu regulieren, um VerbraucherInnen zu informieren und zu schützen. Demnach müssen Behauptungen zur Nachhaltigkeit künftig begründet und von unabhängigen Instanzen überprüft werden, die aufgeführten Vergleiche transparent und nachvollziehbar sein. Labels, die keinen echten Mehrwert bieten, sollen vermieden werden. (European Commission, 2023).

Aus nationaler Sicht haben einige Bundesländer auf der öffentlichen Auftragsebene bereits Umweltleitfäden für eine nachhaltige Beschaffung integriert, andere wiederum befinden sich gerade in der Vorbereitung oder teilweisen Umsetzung. Die rechtliche und politische Lage zur nachhaltigen Beschaffung im öffentlichen Dienst ist demnach zur Projektlaufzeit von NachLabs sehr heterogen. Auch wenn diese externen Anreize und politischen Regelungen eine tragende Rolle für einen nachhaltigen Wandel spielen, gibt es intrainstitutionell Möglichkeiten, ein nachhaltigeres Beschaffungssystem zu etablieren, beispielsweise über die Kompetenzstelle **Nachhaltige Beschaffung**.

Hierzu zählen auch einige allgemeine Handlungsempfehlungen: um Transportwege zu reduzieren und Verpackungsmaterial einzusparen, sollte (weiterhin) auf Großbestellungen gesetzt werden. Vor dem Erwerb von Materialien und Geräten ist zu empfehlen, sich beim Hersteller nach Daten zum Lebenszyklus des Produktes zu erkundigen. Außerdem lohnt es sich, sich für langlebige und hochwertige Optionen zu entscheiden, um häufige Neuanschaffungen zu vermeiden, was somit wiederum auch einen ökonomischen Vorteil bietet. Zudem bieten bereits einige Anbieter einen Wartungs- und Reparaturservice oder einen Rückholservice ihrer Produkte an. Das Informieren und der Austausch über solche Angebote vor dem Einkauf können dazu beitragen, dass ein größerer Anteil der im Labor anfallenden Abfälle recycelt wird.

Dies erfordert jedoch eine allgemein stärkere Verankerung des Nachhaltigkeitsgedanken in die Beschaffungsreglementierung bzw. Nachhaltigkeitsstrategie der jeweiligen Institution, sodass nachhaltige

Beschaffungen belohnt werden und einen motivationalen Anreiz bekommen. Idealerweise sollten mehr Ressourcen am Anfang für diesen Mehraufwand zur Verfügung gestellt werden. Eine Einbindung aller Beteiligten, ebenso aus den Labor- und Arbeitsgruppen, in den Beschaffungsprozess, könnte zudem dabei unterstützen, Verbesserungspotentiale zu erkennen und mehr Transparenz zu schaffen (Leal Filho et al., 2019).

ABFALLMANAGEMENT

Labore tragen ebenfalls erheblich zur Entstehung verschiedener Abfallarten bei. Eine Untersuchung in einem universitären Chemielabor in den USA ergab, dass es innerhalb eines Jahres 1.089,2 kg Abfall produzierte. Von diesem waren fast 80 % nicht recycelbar (Glover, Booth & Wiencek 2023). Vor allem flüssige sowie feste chemische Substanzen, die teilweise ein Gesundheitsrisiko für Mensch und Umwelt darstellen, bilden eine große Menge an Abfällen (Goh et al., 2019; Lara et al., 2016). Nach einer Erhebung der TU Dresden wurden in einem Jahr rund 16 Tonnen an Lösemitteln sowie 7 Tonnen an Laborchemikalien erzeugt (TU Dresden, 2020). Darüber hinaus stellt der bereits genannte Plastikabfall ein großes Problem dar (Urbina et al., 2015).

Betreffend des Abfallmanagements geben rund 28 % der ProbandInnen an, nicht zu wissen, wie stark ihre Institutionen Anstrengungen im Bereich der Recyclingstrukturen unternimmt. Bei einer Minderheit (5,6 %) wird von einem sehr hohen Maß an Tätigkeit gesprochen, bei 15 % von einem hohen Maß. Dagegen geben etwa 18 % an, dass überhaupt keine Bemühungen stattfinden und rund ein Fünftel (22,2 %) berichtet von geringer Tätigkeit.

Aus den Interviews lässt sich entnehmen, dass die Beseitigung von Abfällen häufig durch externe Entsorgungsunternehmen durchgeführt wird. Dabei erfolgt dies gemäß den Vorgaben der jeweiligen Entsorger sowie unter Berücksichtigung von Abfallverzeichnissen und -schlüsseln. Als besonders wichtig wird die ordnungsgemäße Trennung von kontaminierten Abfällen und Chemikalien sowie die getrennte Entsorgung von Chemikalien untereinander empfunden. Viele Gruppen bemühen sich außerdem um eine Trennung von Restmüll, Plastik und Papier.

„Wir haben alle vier Tonnen, gelb, blau, schwarz und weiß für Glas und dann, wie gesagt, noch die für den Autoklaviermüll. Das ist dann separat.“ (07)

„Mülltrennung ist überall standardisiert und geregelt.“ (09)

Dabei gibt es jedoch einige Herausforderungen: So müssen beispielsweise Plastik- und Glaswaren, die (potenziell) kontaminiert sind, im Restmüll entsorgt werden.

„Das ist ähnlich wie bei Glas, Laborglas. Da freut sich jeder Recycler, wenn er eine zerbrochene Laborglasflasche in seinem Recyclingmaterial hat, weil die können in der Regel so nicht recycelt werden.“ (05)

„Der Glasmüll ist genauso ein Problem. Das ist hochschmelzendes Glas, auch nicht geeignet, um in den Glascontainer zu gelangen, wo man ja vielleicht neue Flaschen draus macht, weil der ist einfach nicht schmelzbar in dem Bereich. Und deshalb kommt der auch wieder letztendlich in den Restmüll.“ (03)

„Und genau, die Pipettenspitzen können halt dadurch, dass sie zum gewissen Teil mikrobiologisch belastet sind, nicht wiederverwertet werden.“ (01)

Ebenso wird erwähnt, dass autoklavierte Materialien, unabhängig von ihrer Zusammensetzung, im Restmüll entsorgt werden.

„Wie gesagt, nur beim Autoklaviermüll wird alles gemixt bisher, das manage ich bisher nicht, das zu trennen und danach in verschiedenen Müll zu schmeißen.“ (07)

„Der autoklavierte Müll hier landet dann allerdings im Restmüll danach.“ (08)

Teilweise bestehen auch Unklarheiten darüber, inwieweit bestimmte Materialien überhaupt recycelbar sind.

„[...] ich bin mir nicht im Klaren, welche Plastikwaren, die wir alle benutzen, überhaupt recycelbar sind, wenn man sie über die gelbe Tonne entsorgen würde, wenn man es könnte.“ (05)

„Ich frage mich nur mal, wo Styropor hin soll. Das ist mir nicht ganz klar.“ (07)

„Und deswegen ist es, glaube ich, in der ganzen Community bei uns so, man macht es so, wie es alle machen und schmeißt das Zeug lieber weg, wenn man es nicht weiß.“ (07)

Um der hohen Masse an Abfällen entgegenzuwirken, gibt es bereits Ansätze, eine Wiederverwendung zu ermöglichen.

„Was wir aber im Haus hier etabliert haben, sind, dass alle, die [Firma] Pipettenspitzen nehmen, dass wir die zum Teil zentral sammeln und zentral zurückschicken“ (04)

„Das heißt, die [Pipetten, Spitzenboxen] kann man nach Benutzung zurückschicken und die werden halt dann wieder aufgearbeitet, sodass man die mehrfach verwenden kann.“ (05)

„Also die Glasfläschchen sind sogar, die recyceln wir mittlerweile sogar, die werden wieder aufgereinigt [...] nachdem dann die Lösung bei uns in Anorganik und Organik getrennt in Kanistern gesammelt wird. Und die Kanister werden bei uns abgegeben, zentral gelagert zwischenzeitlich und dann abgeholt.“ (06)

Die Ergebnisse der Erhebung zeigen, dass das Bewusstsein und die Umsetzung hinsichtlich des nachhaltigen Abfallmanagements zwischen den befragten Laboren durchwachsen ist. Es gibt erkennbare Bemühungen, jedoch auch einige Beschränkungen und Hindernisse sowohl auf personeller als auch auf **institutioneller Ebene**.

Handlungsempfehlungen:

Die wirkungsvollste Maßnahme gemäß der Abfallhierarchie (§ 6 Kreislaufwirtschaftsgesetz) und den Prinzipien der grünen Chemie ist die Vermeidung von überflüssigen Materialien und Reagenzien (Dunn, 2012). Da ein vollständiger Verzicht im Laborbetrieb jedoch nicht möglich ist, gibt es Handlungsempfehlungen, um die Umweltauswirkungen der eingesetzten Ressourcen gezielt zu reduzieren.

Eine Reduktion und Wiederverwendung von Einwegartikeln ist im Hinblick auf das Abfallmanagement erstrebenswert. Die Wiederverwendung kann nach Berechnungen von Farely & Nicolet (2023) den CO₂ – Ausstoß je nach Produkt um das 11,3 – fache verringern (z.B. bei der Wiederverwendung von 50-mL-Röhrchen im Vergleich zu Einwegröhrchen). Die Interviewteilnehmenden erwähnen jedoch wiederholt, dass die Nutzung von Mehrfachartikeln aufgrund von unterschiedlichen Faktoren wie der Kontamination oder Abhängigkeit von einigen Materialien und Produkten, nicht in jedem Kontext möglich ist. Eine britische Studie untersuchte ebenso, inwieweit Zentrifugenröhrchen autoklaviert und erneut eingesetzt werden können. Die Untersuchungen zeigen, dass in den ersten vier Wochen 1.670 Röhrchen eingespart werden konnten, was einer Einsparung von 20.000 Röhrchen im Jahr entspricht. Die Ergebnisse weisen darauf hin, dass es durch die Wiederverwendung zu keinerlei Kontaminationen gekommen ist (Alves et al., 2020).

Dort, wo nicht auf Wiederverwendung von Einwegartikeln oder Mehrwegartikel zurückgegriffen werden kann, ist das korrekte Recyclen von Labormaterialien von großer Bedeutung. Aktuell ist es gängige Praxis, dass alle Laborkunststoffe unabhängig von der tatsächlichen Nutzung als belastet gelten und verbrannt werden müssen. Eine Getrenntsammlung von nicht-kontaminiertem Plastik, von autoklaviertem, biologisch kontaminiertem Kunststoff und chemisch kontaminierten Kunststoffen muss individuell mit einem Recycler vereinbart werden, wie in einer Pilotstudie von Weber et al. (2025) beschrieben. Ein Best-Practice Beispiel wurde ebenfalls durch NachLabs PartnerInnen an der Universität Konstanz⁴ eingeführt. In Hinblick auf Skalierbarkeit ist der deutschlandweit vertretene Entsorger Remondis miteinbezogen. Die Blaupause zur Übertragbarkeit auf andere Institutionen wird derzeit an der TU Darmstadt

⁴ <https://www.uni-konstanz.de/agu/abfall-und-sonderabfall/projekt-das-5-r-prinzip-im-labor/>

getestet und zielt darauf ab, dass lediglich chemisch kontaminierte Laboreinwegplastikartikel in die Verbrennung überführt werden müssen.

In Bezug auf die Reagenzien sollte der überflüssige Einsatz vermieden werden, und wenn möglich, eine Rückgewinnung z. B. durch die Destillation von Lösemitteln angestrebt werden (Goh et al., 2019). Ein weiteres wirksames Mittel zur Reduzierung chemischer Abfälle ist eine gut organisierte Lagerhaltung. Abhängig vom Kontext der jeweiligen Institution, kann eine institutionelle oder regionale Tauschbörse implementiert werden, um unnötige Abfallmengen zu vermeiden. In jedem Fall ist die korrekte Entsorgung der Materialien und Reagenzien entscheidend, um die Umweltauswirkungen zu minimieren.

NACHHALTIGKEITSBEWUSSTSEIN

Um das Nachhaltigkeitsbewusstsein in den einzelnen Institutionen und bei den ProbandInnen zu untersuchen und zu analysieren, wurde das Konzept auf individueller und institutioneller Ebene betrachtet und ergänzend geprüft, wo Herausforderungen und Potenziale liegen.

Dabei zeichnete sich auf individueller Ebene bereits ein starkes Bewusstsein unter den ProbandInnen ab. Die Mehrheit der ProbandInnen (81 %) ist sich der Umweltauswirkungen von Laboren bewusst, rund 48 % geben sogar an, sich diesem voll bewusst zu sein, während eine noch größere Mehrheit (89 %) sich für die Relevanz von Nachhaltigkeit ausspricht, rund 60 % erachten diese sogar als sehr wichtig. Im Kontrast dazu haben sich jedoch nur 66 % bereits mit Nachhaltigkeit im Laborbetrieb beschäftigt, 41 % davon in vollem Maße. Dem Statement „Ich habe meine Arbeit bereits versucht nachhaltiger zu gestalten“ stimmten jeweils 24 % zu, 43 % in vollem Maße. Diese kumulative Mehrheit gab dementsprechend einige Beispiele für bereits realisierte Aktionen, die in Abb. 10 zusammengefasst sind.

„Ich habe ein Projekt initiiert, um sicherzustellen, dass unsere sterilen Werkbänke abends ausgeschaltet werden, und mit Kollegen über nachhaltiges Labormanagement gesprochen, was möglicherweise dazu beigetragen hat, dass mehrere unserer ULT-Gefrierschränke auf -70°C eingestellt wurden. Wir haben auch begonnen, LEAF zu nutzen und saubere Hartkunststoffe für das Recycling zu sammeln.“

„Schalten Sie die Abzüge aus, wenn sie für längere Zeit nicht benutzt werden. Zusammenlegung von Trockenschränken mit einem anderen Labor.“

„Reduzierung des Luftaustauschs von 8x auf 2x, Sammlung leerer Pipettenspitzenboxen zur Abholung durch den Hersteller (Biozym), der diese an einen regionalen Lieferanten für die Granulatherstellung zur Fensterherstellung weiterleitet.“

„Wir haben eine Medienflaschensammlung gestartet, bei der PAN Flaschen mit Nährmedien zurücknimmt. Zehn Labore nehmen an dieser Initiative teil, die auf der Nachhaltigkeits-Homepage des Universitätsklinikums hervorgehoben wird. Habe mit dem Nachhaltigkeitsmanager zusammengearbeitet und an internen Nachhaltigkeitsgruppen (Beschaffung, Klinikum) teilgenommen, am ersten Nachhaltigkeitsbericht mitgewirkt und an Vernetzungstreffen teilgenommen.“

„Wiederverwendung von Pipettenspitzen, Ausschalten von PCs und Geräten nach Gebrauch, Minimierung des Lösungsmittelverbrauchs in der HPLC.“

„Anbringen von Aufklebern an den Papierhandtuchspendern mit der Aufforderung an die Benutzer, sich auf 1-2 Handtücher zu beschränken. Umstellung auf mit dem Blauen Engel zertifizierte Büro- und Hygieneprodukte.“

„Baumwoll-Laborkittel für Besucher anstelle von Einwegkitteln“.

„Experimentelle Evaluierung alternativer Konzepte für den Umgang mit Rückständen, die den Kunststoffabfall im Vergleich zu den Standardprotokollen um bis zu 30 % reduzieren könnten.“

„Im Unterricht die Schüler daran erinnern, dass sie mit guter Planung schnell und effizient Material einsparen können.“

„Anpassung der Gefrierschrank-Temperatur, Verwendung von Glas anstelle von Plastik, wenn möglich, Mülltrennung, Recycling von Plastik und Styropor“.

„Ich hatte in meinem früheren Labor (während meiner Promotion) ein My Green Lab-Zertifikat, jetzt muss ich wieder von vorne anfangen (PostDoc).“

Abbildung 10: Aussagen der ProbandInnen zu bereits getätigten Maßnahmen innerhalb der Universitäten.

Die Mehrheit der ProbandInnen (89 %) wären bereit ihre Arbeit im Labor nachhaltiger zu gestalten, rund 58 % befürworten diese Aussage stark. Auch die bisherig existierende Forschung deutet darauf hin, dass vor allem Bottom-up und Grassroot-Bewegungen den nachhaltigen Wandel in Laboren vorantreiben (Dobbelaere, et al. 2022).

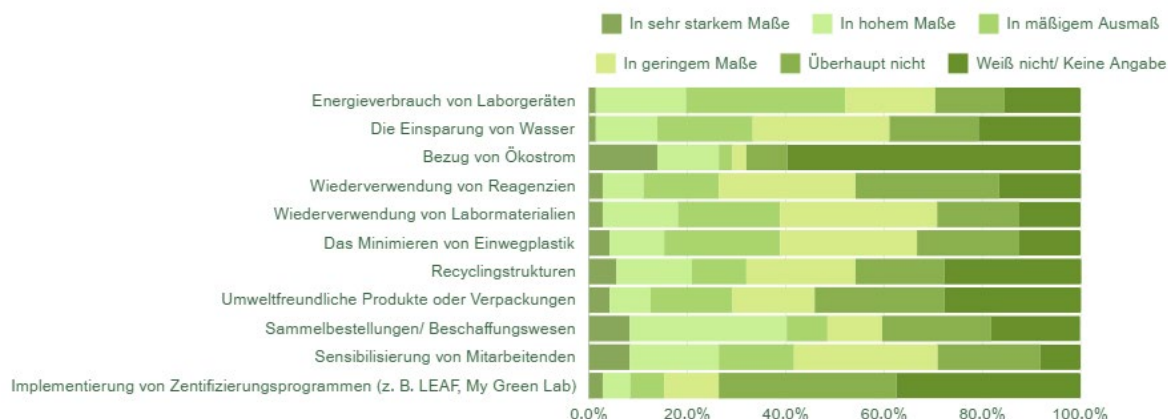


Abbildung 11: Einschätzung der Institutionellen Bemühungen.

Werden das institutionelle Bewusstsein und die bestehenden Maßnahmen betrachtet, so waren die am häufigsten genannten Punkte die Sensibilisierung der Mitarbeitenden (18,1 %), der Energieverbrauch von Laborgeräten (18,3 %), die Wiederverwendung von Labormaterialien (15,3 %) und Recyclingstrukturen (15,3 %). Diese Faktoren finden sich in einem moderaten Umfang auch bei der Minimierung von Einwegplastik (23,6 %), beim Wassersparen (19,4 %) und bei der Wiederverwendung von Reagenzien (15,3 %). Bei den meisten Bestrebungen überwiegt jedoch der Anteil der Befragten, die „in geringem Maße“ oder „überhaupt nicht“ angeben (siehe Abb. 11).

Eine weitere Frage im Themenfeld des Nachhaltigkeitsbewusstseins war, welche Faktoren die ProbandInnen als die größte Herausforderung in ihrer Einrichtung wahrnehmen. Vor allem der Mangel an personellen Ressourcen wurde von der Mehrheit fast aller Gruppen, mit Ausnahme der Studierenden, als die größte Herausforderung wahrgenommen. Es folgten fehlende finanzielle Ressourcen, fehlende Infrastruktur und fehlende Überwachungssysteme. Diese Einschätzung wurde auch in den Interviews widergespiegelt:

„Das reicht aber nicht. Man muss ja auch noch jemanden haben, der das kann und die Arbeitszeit dafür zur Verfügung stellen und muss ja auch entsprechend bezahlt werden. Also es liegt natürlich schon am Geld, aber nicht nur an dem Geld für Materialkosten.“ (06)

„Das kann man, glaube ich, aber das ist meine Arbeitszeit, die würde ich jetzt ja nicht dafür verwenden, das zu tun, [...]“ (09)

Ein kleinerer Teil nannte auch das mangelnde Interesse der Führungsebene als Herausforderung, obwohl DozentInnen einstimmig anderer Meinung waren.

„Die großen zentralen Prozesse können wir halt nicht als kleines Licht im Labor verändern. Wir sprechen es an, aber entscheiden muss das halt jemand von oben. Wenn da nichts kommt, dann sind uns etwas die Hände gebunden. Wir können nur animieren [...]“ (04)

„[...] Ich glaube, die eine oder andere Anregung in die Leitungsfunktion wäre sicherlich auch sehr wünschenswert.“ -- „Das geht ja meistens nur von unten [...]“ (05)

Fehlendes Informationsmaterial stellt ebenfalls eine Herausforderung dar, vor allem für die Mehrheit der Studierenden und DozentInnen.

„Tatsächlich bei den meisten Sachen, die wir verwenden, wüsste ich nicht, wo ich da, also die eben den größeren Abdruck bei uns produzieren, wüsste ich nicht, wie ich da nachhaltiger bestellen könnte [...]“ (05)

„Ja, dafür müssen wir ja erstmal wissen, was denn. Wo man denn noch sparen könnte. Genau, wo man vielleicht noch Infos kriegen kann, was man besser machen kann. Und dann sieht man ja erst, ob man, ob da vielleicht irgendein Grund gegen spricht.“ (07)

Die fehlende Motivation der DozentInnen wird vor allem von den Studierenden wahrgenommen, während die fehlende Motivation der Studierenden einen geringen Anteil an Zustimmung erhielt.

Schließlich wurden die Befragten nach ihrer Einschätzung des Nachhaltigkeitspotenzials verschiedener Maßnahmen gefragt. Während sich eine große Mehrheit der Studierenden (55 %) und Forschenden (60 %) in erster Linie Informationen zur Nachhaltigkeit wünscht, sind es bei den Lehrenden, Angestellten und anderen Befragten nur rund ein Drittel bis ein Viertel. Anders verhält es sich bei mehr Ressourcen, Motivationsanreizen und Vorschriften/Richtlinien. Hier spricht sich die Mehrheit in fast allen Gruppen für ein großes Potenzial für einen nachhaltigeren Laborbetrieb aus.

„[...] die größte Möglichkeit, gleichzeitig aber auch mit der größten Schwierigkeit verbunden, ist die Haustechnik“ (05)

„Warum muss eine Lüftungsanlage laufen, wenn in einem Labor niemand arbeitet? Völlig überflüssig. Nur das gibt die Technik halt einfach nicht her“ (05)

„Studierenden arbeiten jetzt im Zweierteam, auch damit wir ein bisschen Material sparen und Kosten sparen.“ (01)

„eine Klimaanlage im Sommer, gedämmte Wände. [...] Wir haben ja so Solar(anlagen) auf dem Dach, wenn man die direkt fürs Labor nutzen könnte, das wäre total super [...]“ (02)

„da würde ich mir wünschen, dass die darangehen und das auf grün umstellen, dass man eine Liste bekommt, wo man z.B. zertifizierte Geräte hat, die nachhaltiger produziert wurden, dass man wirklich vergleichen kann in einem Ranking, es kostet das, hat aber dafür nur die Nachhaltigkeitsstufe.“ (04)

„Also ich würde mir [...] wünschen, ich hätte wie so ein Checkprogramm, [...] wie bei der Gefährdungsbeurteilung [...]. So ist das halt unser eigenes Ding. [...] Dass wir uns halt interessieren dafür, was können wir irgendwie verbessern, so wie mit diesen Plastikteilen, die wir jetzt spülbar haben. Ich meine, das sind so Sachen, da freuen wir uns alle drüber. [...]“ (09)

„Und das ist natürlich überhaupt keine Anreizpolitik, um irgendwas zu verändern. Also die Universität interessiert sich nicht dafür, weil sie diese Rechnung nie sieht“ (05)

Die Ergebnisse bezüglich des Nachhaltigkeitsbewusstseins zeigen deutlich, dass die Motivation für einen nachhaltigen Wandel bei den Befragten bereits vorhanden ist und einige von ihnen bereits selbst oder gemeinsam mit ihren KollegInnen Maßnahmen ergriffen haben.

Handlungsempfehlungen: Mit Blick auf die Herausforderungen und Potenziale wird deutlich, dass die erfolgreiche Umsetzung eines nachhaltigeren Laborbetriebs Strukturen erfordert, die diese vorhandene Motivation fördern und belohnen und den Mitarbeitenden helfen, sie in konkretere Maßnahmen umzusetzen. Während bei den einzelnen Maßnahmen eine hohe Übereinstimmung unter den ProbandInnen festzustellen war, zeigen insbesondere die institutionellen Bemühungen Verbesserungsbedarf. Vor allem kristallisierte sich in der Studie heraus, dass für diese Verbesserung nicht nur mehr Ressourcen (finanziell, personell usw.), sondern auch Monitoringsysteme, klare Richtlinien und Motivationsanreize erforderlich sind. Diese externen Einflüsse in Form von Richtlinien, Motivationsanreizen und Monitoring sind von großer Wichtigkeit im Verhaltensprozess, um die intrinsische Motivation zu ergänzen und in eine aktive Umgestaltung zu übersetzen (Schunk & DiBenedetto, 2020).

Diese können auch im Sinne des Konzepts des „Nudging“ wirken, d. h. sie können ohne Einschränkung die Menschen an eine nachhaltigere Entscheidung heranzuführen, so dass diese mit größerer Wahrscheinlichkeit gewählt wird (Bimonte et al., 2020). Gleiches gilt für verfügbare, leicht erkennbare Erinnerungen, z. B. in Form von Aufklebern auf den Abzügen („Shut the Sash“), die daran erinnern, die Abzugsscheibe nach Benutzung vollständig zu schließen und so ohne großen Aufwand an eine nachhaltige Handlungsoption erinnern.

Obwohl bloße Informationen nicht unbedingt zu nachhaltigerem Verhalten führen, können zusätzliche, leicht zugängliche Informationen das Bewusstsein für Nachhaltigkeit fördern, insbesondere bei Menschen, die sich bisher nicht intensiv mit diesem Thema beschäftigt haben. Allgemeine Informationen über einen nachhaltigeren Laborbetrieb sowie einfache Vorschläge für Veränderungen, wie sie in den vorherigen Abschnitten erwähnt wurden, können ebenfalls dazu beitragen, dass die Menschen in ihrem Verhalten die nachhaltigsten Optionen wählen. Es gilt also diesen vorhandenen nährhaften Boden zu nutzen und eine Transformation zu einem nachhaltigeren Laborbetrieb zu ermöglichen.

ZERTIFIZIERUNGEN IM FOKUS: STANDARDS, BARRIEREN UND CHANCEN

Ziel des an der TU Darmstadt durchgeführten Projektes war es, existierende Zertifizierungsprogramme für nachhaltige Labore zu untersuchen und durch Kombination mit anderen Methoden wie Ecomapping®, einer vereinfachten Form der Umweltprüfung, zu verbessern bzw. zu erweitern.

Dazu ist eine wissenschaftliche Publikation entstanden, die hier in, auf die Handlungsempfehlungen des NachLabs Projekts, angepasster und gekürzter Form und in deutscher Übersetzung wiedergegeben wird:

Förderorganisationen wie die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG), die Science Foundation Ireland (SFI), der Medical Research Council (MRC), die Marie Skłodowska-Curie-Maßnahmen, der Wellcome Trust und Cancer Research UK haben damit begonnen zu fordern, dass die Umsetzung nachhaltiger Laborpraktiken in Forschungsvorschlägen berücksichtigt und diese Maßnahmen dann in den von ihnen finanzierten Projekten umgesetzt werden. Darüber hinaus werden sich wissenschaftliche Verlage durch die Herausgabe von Zeitschriften mit Nachhaltigkeitsbezug (z. B. RSC Sustainability, Green Chemistry, MDPI Sustainability und Nature Sustainability) und die WissenschaftlerInnen selbst der Umweltauswirkungen der Forschung bewusst und versuchen, die Wissenschaft im Allgemeinen und die Nasslabors im Besonderen ökologisch nachhaltiger zu gestalten. Viele WissenschaftlerInnen fragen sich jedoch, wo sie anfangen sollen. In der Regel haben Forschungslabors nicht die Möglichkeit, die nachhaltigsten Alternativen für bestimmte Prozesse herauszufinden oder die größten Verbraucher von Energie und anderen Ressourcen selbst zu ermitteln. Daher können Forschungsgruppen beschließen, an Programmen teilzunehmen, die speziell darauf abzielen, die Forschung in Laboren nachhaltiger zu gestalten, den Dschungel der (stillen) VerbraucherInnen zu durchschauen und Hinweise darauf zu geben, wie am effektivsten Ressourcen eingespart werden können. Die Forschungslabors stehen vor einer großen Auswahl an Möglichkeiten. Mehr als 51 Programme für nachhaltige Labore - von denen viele an Institutionen gebunden sind - helfen mit mehr oder weniger umfassenden Vorschlägen, wie ein Labor umweltfreundlicher werden kann, den Weg zu weisen (Smith et al 2023).

Die beiden marktführenden nachhaltigen Laborprogramme sind das US-amerikanische NGO-Programm My Green Lab (MGL) und das britische Programm LEAF (Laboratory Efficiency Assessment Framework) des University College London. Diese Programme bieten nicht nur Vorschläge zur Verbesserung der Nachhaltigkeit von Nasslaboratorien, sondern stellen den NutzerInnen auch zusätzliche Ressourcen zur Verfügung, wie z. B. Veröffentlichungen über die Umweltauswirkungen von Gefriergeräten oder über die Verwendung von Glas im Vergleich zu Einweg-Plastikartikeln (Farley, Nicolet 2023; Bousema et al. 2020), Rechner für CO₂ Emissionen und finanzielle Einsparungen, Erklärvideos und VerbraucherInnenleitfäden, um nur einige zu nennen. Um die Vergleichbarkeit zwischen den Laboren zu erhöhen, die Anstrengungen der Mitarbeitenden zu würdigen und die Anforderungen der Förderorganisationen an die Nachhaltigkeit zu erfüllen, bieten die Programme eine Zertifizierung der Nachhaltigkeit von Laboren an. Beide Programme funktionieren nach dem Prinzip der Fern-Zertifizierung, d. h. die Labors setzen die vorgeschlagenen Maßnahmen um, die mehr oder weniger an ihre spezifische Forschung angepasst sind, und erhalten die Zertifizierung ohne externe Validierung. Doch welches Programm sollte gewählt werden? Bislang gibt es nur eine detaillierte Berichterstattung über eines der Programme (Freese et al 2024; Franssen et al 2022), und eine Beschreibung der Programme ohne Peer-Review, aber es wurde kein wissenschaftlich-quantitativer Vergleich angestellt.

Im Rahmen des NachLabs-Projekts und weiterer an der TU Darmstadt laufenden Forschungsprojekte, wurden My Green Lab und LEAF erstens im Hinblick auf öffentlich verfügbare Informationen geprüft und verglichen und zweitens untersucht, wie sie in der Praxis funktionieren. Als Fallstudie haben wir beide Programme in unserem Labor an der TU Darmstadt durchgeführt, um einen explorativen Einblick aus erster Hand zu erhalten, Einsparpotenziale zu ermitteln und die generelle Praxistauglichkeit zu erfahren. Als Kernstück unserer Studie haben wir eine deutschlandweite Umfrage durchgeführt, um quantitative und statistisch verlässliche Daten zu den NutzerInnenenerfahrungen von 59 Personen aus Laboren verschiedener Forschungsbereiche zu erhalten, die Rückmeldungen von 15 aller 19 Einrichtungen umfassen, in denen eines der beiden Programme implementiert wurde. In der Umfrage haben wir keinen

signifikanten Unterschied in der Gesamtbewertung der Programme festgestellt. Beide Programme werden weithin mit "gut" bis "sehr gut" bewertet, was die Nachhaltigkeit und die Motivation für nachhaltiges Arbeiten im Labor erhöht. Je nach individuellen Unterschieden, wie z. B. dem Forschungshintergrund oder der Art des Personals, zeigen die NutzerInnen jedoch Präferenzen für das eine oder das andere Programm. Darüber hinaus haben wir die theoretischen und praktischen Auswirkungen zusammengefasst, die wichtigsten Vorteile und Schwachstellen der Programme zusammengetragen, Greenwashing-Risiken untersucht, stellen eine Entscheidungshilfe zur Verfügung und stellen zusätzliche Elemente vor, die die NutzerInnen aus der Vor-Ort-Inspektion durch kommerzielle Nachhaltigkeitsberatungsunternehmen für Labore übernehmen könnten, um gemeinsame Herausforderungen zu bewältigen, mit denen die NutzerInnen der Programme während ihrer Implementierung konfrontiert waren.

VERGLEICH: LEAF & MY GREEN LAB - ÖFFENTLICH VERFÜGBARE INFORMATIONEN

GESTALTUNG DES PROGRAMMS/ÜBERSICHT UND ZERTIFIZIERUNGSPROZESS

LEAF (Laboratory Efficiency Assessment Framework) besteht aus 48 vorgeschlagenen Maßnahmen zur Umsetzung von Nachhaltigkeit in naturwissenschaftlichen Laboratorien. In der Regel sind ein oder zwei Labormitglieder pro Forschungsgruppe für die Umsetzung von Maßnahmen und das Ausfüllen des Webbrowser-basierten LEAF-Katalogs in Freitext verantwortlich. Die behandelten Themen sind Energie, Abfall, Wasser, Mitarbeitende, Forschungsqualität, Beschaffung, Ausrüstung, IT, Proben- und Chemikalienmanagement, Lehre und Belüftung. In der Regel setzen die NutzerInnen innerhalb von einigen Monaten bis zu einem Jahr 16 feste Kriterien für die Bronzestufe und weitere 17 bzw. 15 Kriterien für die Silber- und Goldstufe um (siehe Abb. 12a). Das LEAF-System zielt darauf ab, den Austausch und die Weitergabe von Best Practices zwischen den Labors zu fördern und Greenwashing zu vermeiden, indem die Labors aufgefordert werden, sich nach der Umsetzungsphase gegenseitig auf die Zertifizierung hin zu überprüfen. Die LEAF-Zertifizierung ist ein Jahr lang gültig.

Darüber hinaus bietet LEAF-Einsparungsrechner an, die eine ungefähre Einschätzung der erzielbaren Kosten- und CO₂ Einsparungen ermöglichen. Wenn die Labore die Rechner verwenden, kann automatisch ein Bericht über die monetären und emissionsbezogenen Einsparungen für die Einrichtung bzw. das Labor erstellt werden (siehe Tabelle 1).

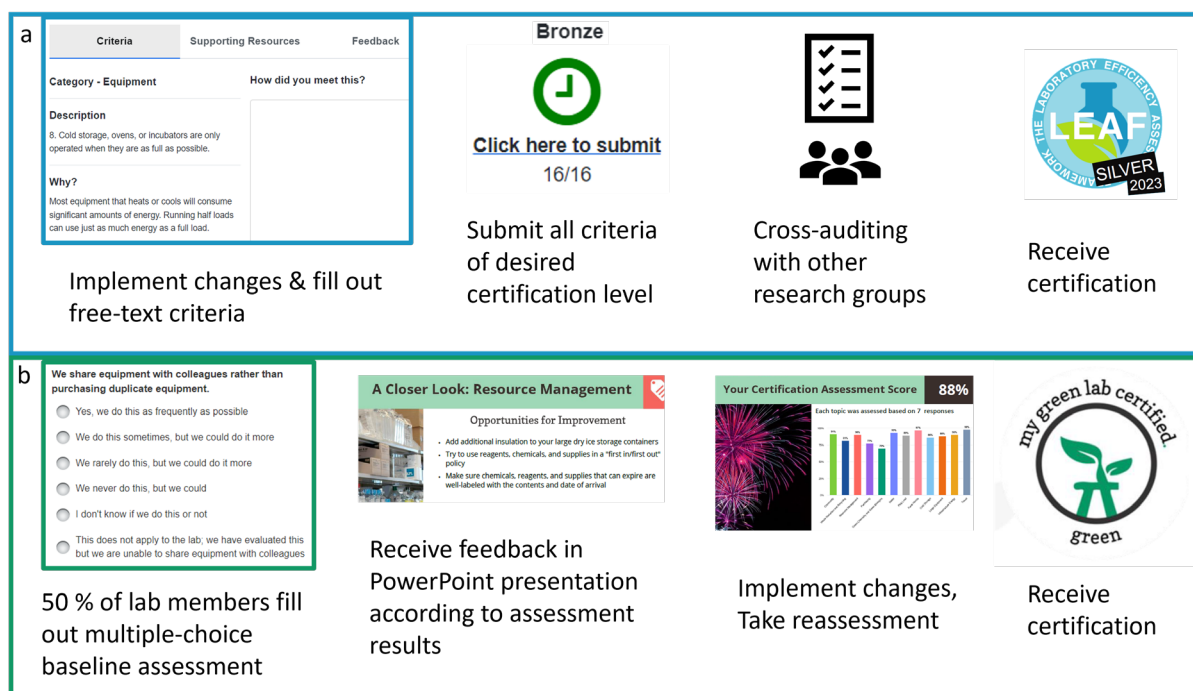


Abbildung 12: Design und Zertifizierungsprozess von a) LEAF und b) My Green Lab. Screenshots und Logos wurden mit Genehmigung von MGL und LEAF reproduziert

My Green Lab (MGL) präsentiert den NutzerInnen auf bis zu 15 Seiten eines Multiple-Choice-Fragebogens zu nachhaltigem Verhalten und Maßnahmen in Laboren anwendbare Themen, die auf dem Hintergrund ihres Labors basieren (siehe Abb. 12 b). Mindestens 50 % der Labormitglieder nehmen an der Basisbewertung teil, bei der es sich um einen Multiple-Choice-Fragebogen handelt, um das Wissen der NutzerInnen über nachhaltige Praktiken zu erfassen und die in ihrem Labor bereits umgesetzten Maßnahmen zu bewerten. Abgedeckt werden die Themen Gemeinschaft, Abfall, Ressourcenmanagement, Einkauf, grüne Chemie, Wasser, Geräte, Abzugshauben, Kühlgeräte, Großgeräte, Energie für Gebäudeinfrastruktur, Feldarbeit, Tierforschung und Reisen. Durch die Durchschnittsbewertung der Antworten der NutzerInnen zu allen Themen erhalten die Labore eine Punktzahl, die als "Basisbewertung" dient. Die Labore erhalten Rückmeldungen, wie sie sich auf der Grundlage der gegebenen Antworten verbessern können. Die Labors sollten die vorgeschlagenen Maßnahmen innerhalb der folgenden 6-9 Monate umsetzen und dann die Bewertung wiederholen. Wenn sie mehr als 40 % erreichen, erhalten sie die erste Zertifizierungsstufe, Bronze. Höhere Zertifizierungen (Silber, Gold, Platin) werden in Schritten von 10 Prozentpunkten bis hin zu 80 %, dem "grünen" Zertifikat, erreicht. Die Zertifizierung ist zwei Jahre lang gültig. My Green Lab bietet zusätzliche Programme an (siehe Tabelle 1), wie die Freezer Challenge (siehe unten, "Auswirkungen der Programme"), das ACT-Label (Accountability, Consistency, and Transparency) für die Nachhaltigkeit von Verbrauchsmaterialien und Geräten und das Botschafterprogramm (kostenlose Schulung mit anschließender Zertifizierungsmöglichkeit als NachhaltigkeitsbotschafterIn und Microsoft Teams Austauschplattform).

Tabelle 1: Übersicht und Vergleich der Spezifikationen von LEAF und My Green Lab.

			
Investitionen (Geld und Zeit)			
£1100-2600 / Einrichtung, je nach Mitarbeitendenzahl: <1000: £1100, <2000: £1600, <3000: £2000, 3000+: £2600		Akademische Labors: 500-350 US\$ pro Labor, d. h. Forschungsgruppe, Preisstaffelung: > 5 Labore: 475 \$, >10: 450 \$, >24: 400 \$, 50+: 350 \$	
<i>nur für akademische Labore verfügbar, kommerzielle Version ist geplant</i>		Kommerzielle Labore: \$4000 - \$2800 (1-50+ Labore)	
Mindestens eine Person im Labor		Mindestens 50 % der Labormitglieder	
20-40 min (Bronze, je nach Kenntnisstand der ausfüllenden Person), freier Text		Pro Labormitglied ~40 Minuten für Baseline- und Zertifizierungsbeurteilung, jeweils Multiple Choice	
Behandelte Themen			
Abfall		Abfall	
Wasser		Wasser	
Einkaufen		Einkaufen	
Mitarbeitende (einschließlich Reisen)		Gemeinschaft Reisen	
Ausrüstung (einschließlich MGL-gleichwertige Themen)		Energieverbrauch von Geräten Kühlagerung Großgeräte (einschließlich IT)	
IT			
Proben- und Chemikalienmanagement (einschließlich Grüne Chemie)		Ressourcenmanagement Grüne Chemie	
Belüftung (einschließlich Heizung)		Abzugshauben Infrastruktur Energie	
<i>Äquivalente von Infrastrukturenergie wie Beleuchtung und Heizung sind in den Kategorien Lüftung und Geräte enthalten</i>			
Qualität der Forschung		-	
Unterricht		-	
-		Feldarbeit	
-		Tierforschung	
Ressourcen			
Tipps für alle Kriterien im Webtool		PowerPoint-Präsentation mit Tipps zur Verbesserung der Nachhaltigkeit, angepasst an die Ergebnisse der Basisbewertung	
Administratoren können lokale Tipps hinzufügen		<i>Keine lokale Anpassung möglich</i>	
CO ₂ - und Kostenkalkulator		-	
Leitfaden für die Prüfung		-	
-		Freezer Challenge	

-	Ambassador-programm (Austauschplattform)
-	Anerkanntes professionelles Programm (Ausbildungsplattform; zusätzliche Gebühr)
Leitfaden Verbrauchsmaterial	ACT Label (Kennzeichnung von Verbrauchsgütern und Geräten hinsichtlich ihres Carbon Footprints, Transparenz bei Produktion, Verpackung und Versand)
Online-Ressourcen (wissenschaftliche Veröffentlichungen, Videos, Poster, Aufkleber)	Online-Ressourcen (wissenschaftliche Veröffentlichungen, Videos, Poster, Aufkleber)
Institutionelle Berichte	Aktions-Tracker (Excel-Tabelle)
<i>Keine Überprüfung durch Dritte verfügbar</i>	Überprüfung durch Dritte durch "impact laboratories" als Tochterunternehmen der MGL
Prozess der Umsetzung	
Webtool mit allen Kriterien, Tipps und Veröffentlichungen	Multiple-Choice-Basisbewertung, die dem/der NutzerIn als Link zugesandt wird, PowerPoint-Präsentation mit Tipps und Links zu weiteren Ressourcen entsprechend dem Ergebnis der Basisbewertung
Individuelle Fortschritte im Webtool verfolgbar	Individuelle Fortschritte können in einem Microsoft Excel Sheet 'Action Tracker' verfolgt werden
Der/die AdministratorIn der Einrichtung richtet im Webtool Labore und Labormitglieder ein	Einrichtung durch MGL
Priorisierung der Kriterien nach Stufen: 16 Kriterien für Bronze, 17 Kriterien für Silber und 15 Kriterien für Gold	<i>Keine Priorisierung der Kriterien; der Prozess der Priorisierung/Umsetzung bleibt dem/der BenutzerIn überlassen</i>
Tipps für jedes Kriterium, <i>keine Anpassung an spezifisches Labor oder Institution</i> ; der Administrator kann (lokale) spezifische Tipps eingeben	Spezifische Tipps für die Bewertung
Zeitleiste	
Selbstbestimmt; Empfehlung: Erstes Jahr zur Umsetzung der Maßnahmen für die Bronze-Kriterien (oder höher), Vorlage der erfüllten Kriterien, Audit durch eine andere Forschungsgruppe, Zertifizierung	Selbstbestimmt; Empfehlung: 3-6 Wochen für die Basisbewertung, Rückmeldung von MGL, was in einer PowerPoint-Präsentation umgesetzt werden soll, 6-8 Monate für die Umsetzung der Maßnahmen, Zertifizierungsbewertung
Zertifizierung/Transparenz	
3 Stufen (Bronze, Silber, Gold)	5 Stufen (Bronze, Silber, Gold, Platin, Grün)
Feste Kriterien zum Erreichen eines Levels, Ausgleich über Kriterien eines Levels nicht möglich	Alle Kriterien werden gleich gewichtet, und der Prozentsatz der erfüllten Kriterien ergibt die Punktzahl
"Trifft nicht zu" ist mit Begründung möglich	"Trifft nicht zu" ist möglich; eine Begründung ist nicht erforderlich
Audit durch eine andere Forschungsgruppe/einen Nachhaltigkeitsbeauftragten der Einrichtung	Keine externe Überprüfung, MGL gibt an, bei Verdacht auf Missbrauch stichprobenartige Kontrollen durchzuführen
Rechner zur Abschätzung von CO ₂ - und Kosteneinsparungen; er ermöglicht die Eingabe der eigenen Kosten pro kWh und der CO ₂ -Emissionen für den Energiemix	<i>Kein CO₂ - oder Einsparungsrechner verfügbar</i>
Jährliche Rezertifizierung erforderlich	Rezertifizierung alle zwei Jahre erforderlich
Übertragbarkeit auf Deutschland/andere Länder	
Konzipiert für britische Labors (näher an deutschen / EU-Standards)	Ausgelegt für US-Laboratorien (einige Kriterien nicht an deutsche Standards angepasst, z.B. gesetzliche Vorschriften)
<i>Nur Englisch</i>	Mehrere Sprachen verfügbar, Übersetzung manchmal schlecht
Skalierbarkeit und interinstitutionelle Zusammenarbeit	
Vorteilhaft, wenn viele Labore innerhalb einer Einrichtung teilnehmen (Cross-Auditing); die Preisgestaltung ist unabhängig von der Anzahl der Labore einer Einrichtung	Einige Maßnahmen fördern den Austausch mit anderen teilnehmenden Labors/Stakeholdern, Preisgestaltung pro Labor
Die interinstitutionelle Zusammenarbeit ist fester Bestandteil des Programms	Interinstitutionelle Zusammenarbeit wird gefördert

AUSWIRKUNGEN DER PROGRAMME

LEAF wurde 2017 als Pilotprogramm am UCL (University College London) ins Leben gerufen und ist Europas erstes akademisches Nachhaltigkeitszertifizierungsprogramm für Labore, das allen akademischen Einrichtungen offensteht. In der Pilotphase von 2018-2020 haben 235 Laborgruppen aus 23 Einrichtungen in ganz Großbritannien und Irland durchschnittliche Einsparungen von 2,9 tCO₂ und 3.700 £/Jahr erzielt, davon 70 % Energieeinsparungen (insgesamt 648 tCO₂)⁵. Bis Juli 2024 nahmen an LEAF ~3.860 Labore aus 115 Einrichtungen und 15 Ländern teil. LEAF hat eine besonders große Wirkung

⁵ <https://www.ucl.ac.uk/sustainable/take-action/staff-action/leaf/leaf-impact>

erzielt, da der Medical Research Council (MRC) des Vereinigten Königreichs in seinem strategischen Umsetzungsplan 2025 angekündigt hat, "den Goldstatus für unsere Organisationen im LEAF-Programm anzustreben". Eine der Stärken von LEAF ist seine Verankerung in der Wissenschaft. Martin Farley, ehemaliger Sustainable Research Manager am UCL und LEAF-Erfinder, hat kontinuierlich wissenschaftliche Daten über nachhaltige Alternativen für Labore veröffentlicht (Farley, Nicolet 2023; Bousema et al 2022; Farley et al. 2015; Farley 2022). Da WissenschaftlerInnen auf wissenschaftliche Daten angewiesen sind, brauchen sie auch wissenschaftliche Beweise, wenn es z. B. um alternative Probenlagerung/ Gefrierschrankwartung, Emissionen ihrer Forschung und tatsächliche Einsparungen/Vergleiche mit Alternativen geht, die LEAF in Form von Veröffentlichungen, Geld- und CO₂ Emissionseinsparungsrechnern für verschiedene Maßnahmen auf seiner Plattform und einem Leitfaden für einen nachhaltigeren Einkauf liefert. LEAF hat Pläne für die Zukunft angekündigt, darunter Bildungs- und Schulungsmodule, ein Online-Forum und standortspezifische Unterstützung.

My Green Lab ist eine 2013 gegründete gemeinnützige Organisation mit 20 Mitarbeitenden. Bis 2024 hat MGL mehr als 2.900 Labore aus 46 Ländern zertifiziert und eine immer größere Wirkung erzielt, wie die Tatsache zeigt, dass sie als eines der Schlüsselemente im "Race to Zero" der Vereinten Nationen zur Halbierung des CO₂-Fußabdrucks der Wissenschaft bis 2030 genannt wurde. Eines der wirkungsvollsten Programme der MGL ist die öffentliche Freezer Challenge. Teilnehmende Labore aus der ganzen Welt geben die Anzahl der unterschiedlich optimierten Ultratiefkühltruhen an. Nach Angaben der MGL wurden dadurch seit 2017 76,5 Millionen kWh eingespart. Allein durch die 2024 Freezer Challenge wurden 31,8 Millionen kWh Energie oder 22.000 tCO₂ e eingespart und es waren mehr als 3.100 Labore aus 35 Ländern beteiligt.⁶ Die MGL hat das ACT-Programm (Accountability, Consistency and Transparency) ins Leben gerufen, ein Umweltzeichen, das die Emissionen von Produkten transparent und vergleichbar macht und Unternehmen dazu anhält, in umweltfreundlichere Produkte und Lebenszyklusanalysen für ihre Produkte zu investieren. Die MGL bietet zusätzliche unterstützende Instrumente wie die Austauschplattform 'Ambassadors' und veröffentlicht laufend neues Bildungsmaterial (Blog, Podcast, Gipfeltreffen). Die MGL bietet zusätzliche Schulungen in Form der 'Accredited Professional Modules' an (zusätzliche Gebühren, anerkannter Schulungskurs durch RSC)⁷. Bisher wurden noch keine Einsparungen pro Labor berechnet, aber es liegen Zahlen aus einer Fallstudie vor (Colorado Dept. of Agriculture, Energieeinsparungen 187000 kWh/Jahr) und Schätzungen der Einsparungen von Astra Zeneca (900 tCO₂ und Energieeinsparungen von \$317.548). Die MGL hat erklärt, einen 'Impact Estimator' zu entwickeln (Smith et al 2023), um diese Lücke zu schließen, und hat den Kohlenstoff-Fußabdruck in ihrem Bericht "The Carbon Impact of Biotech & Pharma" untersucht⁸.

Während die Auswirkungen in Form von Einsparungen von Labor zu Labor sehr unterschiedlich sein können, zeigen wir hier die möglichen Auswirkungen, wenn alle Ratschläge befolgt werden. In einer umfassenden Studie mit 105 Labors in Frankreich haben Paepe *et al.* (2023) gezeigt, dass der Carbon Footprint in der Forschung je nach Standort der Einrichtung entweder von Strom oder vom Einkauf dominiert wird. Daher prüfen wir, wie die CO₂-Emissionen dieser beiden Themen mit den größten Auswirkungen durch Befolgung der Empfehlungen von LEAF und MGL reduziert werden können. An Standorten mit hohen CO₂ -Emissionen pro Stromerzeugungseinheit hat die Elektrizität den größten Carbon Footprint in der Forschung (Paepe et al. 2023). Die Literaturrecherche zeigt, dass 25-70 % des Stromverbrauchs eines Laborgebäudes für die Belüftung benötigt werden⁹. Der restliche Anteil entfällt auf die Infrastruktur wie Beleuchtung und Steckdosengeräte. Die größte Wirkung, die durch MGL und LEAF erzielt werden kann, ist die Befolgung ihrer Ratschläge zur Optimierung der Abzugsnutzung und der Lüftungsraten. LEAF und MGL empfehlen bewährte Verfahren für die Nutzung von Abzügen, z. B. das Schließen von Abzügen, was zu jährlichen Einsparungen von 5 bis 25 % des Belüftungssystems führt. Beide Programme empfehlen eine Reduzierung der Lüftungsraten. Eine Nachtabenkung kann den Energieverbrauch der Lüftungsanlage um 25 % senken, und verschiedene Szenarien zur

⁶ <https://www.i2sl.org/freezer-challenge-winners>

⁷ <https://www.rsc.org/cpd/training/detail/703/my-green-lab-accredited-professional-ap-program>

⁸ https://www.mygreenlab.org/uploads/2/1/9/4/21945752/2022_carbon_impact_of_biotech_and_pharma_report.pdf

⁹ <https://green.harvard.edu/tools-resources/case-study/harvard-fume-hood-strategy>

Reduzierung der Luftwechselraten während der Betriebszeiten könnten den Verbrauch um bis zu 58 % senken. LEAF fordert als Gold-Kriterium eine "Reduzierung der Lüftungsraten" und unterscheidet nicht zwischen Nachtabenkung und Reduzierung während der Betriebszeiten. Der MGL unterscheidet zwischen beiden, aber beide sind nicht verpflichtend.

Weitere große Stromverbraucher sind Beleuchtung, Großgeräte, insbesondere Kühlanlagen, und andere Heiz- und Kühlgeräte. In beiden Programmen wird nach Möglichkeiten gesucht, um sicherzustellen, dass das Licht ausgeschaltet wird, wenn es nicht benötigt wird, und um Glühlampen durch LEDs zu ersetzen. Dies kann zu Einsparungen von bis zu 85 % führen (Montoya et al. 2017). LEAF und MGL gehen mit leichten Unterschieden auf die Gerätenutzung ein, aber beide Programme konzentrieren sich auf Großverbraucher, insbesondere auf Ultratiefkühltruhen (~ 30 % des Energieverbrauchs an der Steckdose; Hafer, 2017). Sie schlagen wirksame Maßnahmen vor, z. B. eine Temperaturerhöhung um 10 °C für Ultratiefkühlgeräte von -80 °C auf -70 °C (bis zu 30 % Einsparungen pro Gerät; Farley et al. 2015) und eine ordnungsgemäße Wartung (~ 25 % Einsparungen; Doyle & Gumapas). Weitere vorgeschlagene Maßnahmen sind die vollständige Beladung anderer Großgeräte beim Betrieb, die Einrichtung von Systemen zur Gewährleistung der Abschaltung, die regelmäßige Wartung bestimmter Geräte usw.

Es hat sich gezeigt, dass der Einkauf je nach Standort des Labors den höchsten oder zweithöchsten Posten der CO₂-Emissionen für Forschungslabors darstellt (Paepe et al. 2023). Die Optimierung des Einkaufs und der Abfallreduzierung wird in beiden Programmen durch mehrere Kriterien angesprochen, die die Wiederverwendung von Einweg-Plastikmaterialien, die zweite Lebensdauer von Geräten, den nachhaltigen Einkauf und die optimierte Verwendung und das Recycling von Lösungsmitteln fördern. Darüber hinaus gibt es bei LEAF einen Leitfaden für nachhaltige Verbrauchsmaterialien. Die MGL hat das ACT-Label entwickelt, das Verbrauchsmaterialien als umweltfreundlichere Alternativen zu herkömmlichen Produkten zertifiziert. Die NutzerInnen erhalten einen Überblick über die Auswirkungen des Transports, grüne Energie für die Produktion usw. Die ständig wachsende Datenbank drängt die Hersteller zu einer umweltfreundlicheren Produktion und mehr Transparenz bei den Emissionen.

VERGLEICH IN DER PRAXIS

Da öffentlich zugängliche Informationen nur eine theoretische Vorstellung von den Programmen vermitteln und möglicherweise voreingenommen sind, haben wir einen Realitätscheck für beide Programme durchgeführt. Um einen explorativen Einblick zu gewinnen, haben wir beide Programme in unserem Labor durchgeführt. Um ein objektiveres Verständnis der Stärken und Schwächen der Programme unter verschiedenen, realen Bedingungen zu erhalten, haben wir eine Umfrage unter Laboren in ganz Deutschland durchgeführt, um die Erfahrungen der NutzerInnen zu sammeln (Shell & Bruns, 2024a). Wir schickten unsere Umfrage an alle Administratoren der LEAF-Institutionen, während die MGL die Umfrage an alle an MGL teilnehmenden Labore in Deutschland verteilte. Wir erhielten Rückmeldungen von 24 LEAF- und 35 MGL-Teilnehmenden. Für weitere Details, z. B. zur Teilnehmendenakquise, siehe Methoden.

AUSWIRKUNGEN IN DER PRAXIS

In unserem Labor haben wir MGL und LEAF gleichzeitig durchgeführt, und mit den bisher unternommenen Anstrengungen konnten wir bei MGL grün (höchste Stufe), bei LEAF aber nur Silber erreichen (mittlere Stufe). Ein Hauptziel von MGL ist die Schulung der Labormitglieder und die Sensibilisierung der NutzerInnen, was bei der MGL-Zertifizierung eindeutig geschehen ist, da mindestens 50 % der Labormitglieder an den Bewertungen beteiligt sind. Die Tatsache, dass wir die MGL-Stufe "grün" erreicht haben, zeigt, dass wir unsere Labormitglieder erfolgreich über nachhaltiges Verhalten, grüne Chemie, Wiederverwendung von Artikeln, optimiertes Recycling von Verpackungen, Wasserverbrauch, Wartung von Gefrierschränken usw. unterrichtet haben. Im LEAF kümmern sich normalerweise ein oder zwei Personen um die meisten Themen. Wenn also nachhaltige Laborpraktiken nicht auf der Tagesordnung der Laborsitzungen stehen und nicht regelmäßig innerhalb der Forschungsgruppe diskutiert werden, sind den anderen Labormitgliedern viele der ergriffenen Maßnahmen möglicherweise nicht bekannt.

Hier wurde eine Einschränkung des MGL deutlich: Selbst nach Erreichen der höchsten Zertifizierungsstufe "Grün" können noch einige erhebliche Herausforderungen zu bewältigen sein. Zum Zeitpunkt der Zertifizierung hatten wir in unserem Labor noch keine Nachtabenkung durchgeführt und auch die Luftwechselraten nicht reduziert, und der Einkauf war nur teilweise optimiert. Wir befürchten, dass dies viele Labore daran hindern könnte, sich mit dem Facility Management auszutauschen, um die Luftwechselraten zu reduzieren, den (zentralen) Einkauf zu optimieren oder den Laborgeräten ein Second Life zu geben, was obligatorische Kriterien für die LEAF-Gold-Stufe sind.

Eine detaillierte Auswertung und Diskussion der NutzerInnenumfrage zu den beiden Programmen findet sich in dem publizierten Artikel (Shell & Bruns, 2024b) und soll hier aus Platzgründen nicht wiedergegeben werden.

SCHLUSSFOLGERUNG

Bei dieser Studie ging es nicht darum, ein *besseres* Programm zu bewerten, sondern das Programm, das für die individuellen Bedürfnisse am besten geeignet ist. Jede Umsetzung nachhaltiger Maßnahmen in Laboratorien macht die Wissenschaft nachhaltiger. Aufgrund einer ausführlichen Literaturrecherche über das Einsparungspotenzial der von den Programmen vorgeschlagenen Maßnahmen konnten wir zeigen, dass beide Programme ein großes Potenzial haben, den CO₂-Fußabdruck der Wissenschaft erheblich zu verringern und sogar die Forschungsqualität zu verbessern. Nach einem umfassenden Vergleich der NutzerInnenerfahrungen kommen wir zu dem Schluss, dass beide Programme leistungsstarke Werkzeuge zur Steigerung der Nachhaltigkeit in Laboren sind. Sie steigern die Motivation der NutzerInnen, nachhaltig zu arbeiten, erheblich und haben daher langfristig eine noch größere Wirkung. Wir haben die spezifischen Vorteile und Schwächen für die einzelnen Hintergründe herausgearbeitet und geben den NutzerInnen damit eine konkrete Entscheidungshilfe an die Hand. Einen wesentlichen Unterschied zwischen den Programmen sehen wir darin, dass LEAF für jede Zertifizierungsstufe feste Kriterien hat, die einen ausgewogenen Fortschritt über alle Themenbereiche hinweg sicherstellen und dass spätestens bei der Gold-Zertifizierung die wirkungsvollsten Maßnahmen angesprochen werden. Aufgrund der völlig flexiblen Kriterien von MGL ist es möglich, die höchste Stufe in MGL zu erreichen, ohne die wirkungsvollsten Maßnahmen anzugehen, aber viele Maßnahmen mit geringerer Wirkung. Dennoch findet der/die motivierte NutzerIn im MGL die notwendigen Informationen über die Auswirkungen der Maßnahmen und kann gezielt die wirkungsvollsten Kriterien angehen.

Beide Programme bieten Raum für Verbesserungen, wenn es darum geht, auf die Bedürfnisse der NutzerInnen einzugehen und Greenwashing-sicher zu werden. Dennoch ist zu bedenken, dass es sich bei den Programmen um niedrigschwellige Bottom-up-Initiativen zur Verbesserung der Nachhaltigkeit der Laborarbeit handelt und nicht um feste Zertifizierungsinstrumente, die z. B. auf ISO-/EU-/EMAS-Normen basieren. Die Programme wachsen und entwickeln sich ständig weiter und unterstützen die Green-Labs-Bewegung nachdrücklich. In Zeiten des Open Access sind jedoch Programme mit Benutzungsgebühren, d. h. sowohl LEAF, das aus dem universitären Bereich kommt, als auch MGL als gemeinnützige Organisation, ausschließlich für diejenigen verfügbar, die über die finanziellen Mittel verfügen. Um die Verbreitung von Best-Practice-Beispielen in der nachhaltigen Laborarbeit zu ermöglichen, fordern wir, dass die bestehenden Programme Open-Access werden oder dass ein neues Open-Access-Programm/Tool zur Verfügung gestellt wird, um das gemeinsame Wissen über nachhaltige Laborarbeit zu teilen.

Zusätzlich zu den Bottom-up-Strategien braucht die Forschungsgemeinschaft eine Anleitung von oben nach unten: klare Vorschriften von Förderinstitutionen, die bestimmte Mindestkriterien vorschreiben. Wir begrüßen die Bemühungen der europäischen Förderorganisationen, ihre Kräfte für eine ganzheitliche europäische Strategie zu bündeln (EMBO Communications, 2024) Diese gemeinsamen Kräfte könnten möglicherweise die finanziellen Mittel für eine Open-Access-Lösung bereitstellen. Darüber hinaus brauchen Forschungsgruppen und Institutionen finanzielle und personelle Unterstützung, um nachhaltige Prozesse zu optimieren. Um Greenwashing zu vermeiden, sind langfristig eine externe Validierung und der Nachweis der Umsetzung der wichtigsten Nachhaltigkeitsmaßnahmen erforderlich.

HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN FÜR DIE AUSWAHL ZWISCHEN DEN NACHHALTIGEN LABORPROGRAMMEN LEAF UND MY GREEN LAB

Bei der Auswahl eines Programms sollten Sie die folgenden Fragen für Ihr Labor beantworten:

- Möchten Sie die Maßnahmen priorisieren oder bevorzugen Sie eine Priorisierung durch das Programm?
- Welchen Preis sind Sie bereit zu zahlen?
- Gibt es in Ihrer Einrichtung andere Labore, die sich an einem Nachhaltigkeitsprogramm beteiligen wollen und eine gegenseitige Überprüfung durchführen könnten? Wenn nicht, gibt es eine/n NachhaltigkeitsmanagerIn an Ihrer Einrichtung, der/die das Audit Ihres Labors durchführen könnte? Gibt es an Ihrer Einrichtung eine Person, die bereit ist, die administrative Rolle von LEAF zu übernehmen?
- Was ist Ihr Forschungsgebiet?
- Wie wichtig ist für Sie die bessere Anpassung an Ihren nationalen/lokalen Rahmen?
- Wie detailliert sollen die Kriterien sein (z. B. detaillierte Fragen zu bestimmten Geräten (z. B. Handschuhboxen, Inkubatoren) oder allgemeine Fragen zum optimalen Betrieb von Gerätegruppen)?
- Möchten Sie, dass alle oder die meisten Labormitglieder beteiligt sind oder dass nur eine oder wenige Personen die Hauptverantwortung tragen?
- Möchten Sie Ihr Labor eher mit Laboren weltweit oder innerhalb Ihrer Einrichtung vergleichen?
- Sind Sie daran interessiert, Ihre CO₂-Einsparungen zu berechnen?

LEAF hat feste Kriterien für jede Zertifizierungsstufe, d. h. die Priorisierung von Maßnahmen, die Sicherstellung eines ausgewogenen Fortschritts in allen Themenbereichen und die letztendliche Umsetzung der wirkungsvollsten Maßnahmen. MGL hat variable Kriterien, erlaubt also eine individuelle Priorisierung und flexible Anerkennung der umgesetzten Maßnahmen, birgt aber das Risiko, dass die wirkungsvollsten Maßnahmen nicht umgesetzt werden.

Ein starkes Argument für den/die Nutzer/In ist die Preisgestaltung, die auch von der Anzahl der Labore abhängt, die an der Einrichtung teilnehmen wollen. LEAF kostet pro Institution (£1.100-2.600, abhängig von der Größe), MGL pro Labor (500-350 US\$, abhängig von der Anzahl der Labore pro Institution). Wenn mehr Labore teilnehmen, ist LEAF finanziell vorteilhaft und fördert den Wissensaustausch zwischen den Labors. Allerdings braucht es jemanden, der das Programm innerhalb der Einrichtung koordiniert. Wenn es nur wenige oder gar keine anderen Labore gibt, die bereit sind, sich zu beteiligen, ist My Green Lab vorteilhaft, weil es unabhängig von den vorhandenen einrichtungsinternen Strukturen ist und die Preise pro Labor gelten. Es ist immer eine gute Idee, wenn sich mehr Labore einer Einrichtung anschließen. Neben der positiven Auswirkung auf die Preisgestaltung war der Austausch zwischen den Labors einer der nützlichsten und effektivsten Aspekte, die von den NutzerInnen der beiden Programme genannt wurden. Es ist ein impliziter Vorteil, dass LEAF standardmäßig einen Austausch mit anderen Labors fordert.

Die Programme sind für verschiedene Forschungsbereiche und den Umfang der Lehre unterschiedlich geeignet. MGL beinhaltet Themen zur Biologie, d. h. für Tierforschung und Feldarbeit, die in LEAF völlig fehlen, aber das letztgenannte Programm beinhaltet Lehr- und Forschungsqualität. Obwohl wir die Tendenz feststellen konnten, dass ChemikerInnen LEAF im Gesamtfeedback höher bewerteten und es für ihr spezifisches Labor für geeigneter hielten, konnten wir keinen signifikanten Unterschied zwischen den Bewertungen der Programme feststellen. Unabhängig vom Forschungsbereich wurde LEAF als signifikant besser an die deutschen / EU-Vorschriften angepasst bewertet. MGL wurde signifikant besser bewertet, was das Verhältnis zwischen Zeit bis zum Ausfüllen und Nutzen betrifft.

Die Wahl zwischen den Systemen kann dadurch erleichtert werden, dass eine Entscheidung für eher breite, allgemeine, aber priorisierte Kriterien (LEAF) oder sehr umfangreiche, sehr detaillierte und gerätespezifische Kriterien (My Green Lab) getroffen wird. Darüber hinaus zielt LEAF darauf ab, den

Aufwand für die meisten Mitarbeitenden gering zu halten, indem mindestens eine oder zwei verantwortliche Personen alle Änderungen delegieren oder organisieren. Um der hohen Fluktuation des Personals in akademischen Forschungslabors entgegenzuwirken, sind jedoch jährliche Audits erforderlich. Die MGL plädiert dafür, die Mitarbeitenden mit den Bewertungen vertraut zu machen und den kulturellen Wandel voranzutreiben, wenn eine kritische Masse an Mitarbeitenden erreicht ist, die sich engagieren. So müssen mindestens 50 % der Labormitglieder den Fragebogen ausfüllen. Allerdings verlangt die MGL nur alle zwei Jahre eine Rezertifizierung. Dies könnte dazu führen, dass der Prozentsatz der Labormitglieder, die an MGL teilgenommen haben, bereits nach dem ersten Jahr der Durchführung von MGL im Labor deutlich gesunken ist.

Wenn Sie sich für die weltweite Vergleichbarkeit interessieren, My Green Lab ist in 46 Ländern vertreten, LEAF nur in 15 (Hodges, 2024). Da LEAF pro Institution durchgeführt wird, hat es eine stärkere Verbreitung innerhalb einer Institution und bietet mehr Vergleichbarkeit vor Ort. Wenn Sie daran interessiert sind, die ungefähren CO₂ Einsparungen zu berechnen, bietet LEAF diese Möglichkeit.

Wenn die Durchführung eines der Programme im Labor in Erwägung gezogen wird, kann davon ausgegangen werden, dass sie beide sehr hilfreich sind, um Labore nachhaltiger zu gestalten und die Motivation der Mitarbeitenden für nachhaltiges Arbeiten zu verbessern. Wenn die Programme jedoch etwas nachlässig ausgeführt werden, gibt es Möglichkeiten, die wirkungsvollsten Maßnahmen zu umgehen und trotzdem eine hohe Zertifizierung zu erreichen. Nach einigen motivationsfördernden Maßnahmen und „low hanging fruits“ müssen die wirkungsvollsten Maßnahmen in Angriff genommen werden, d. h. Belüftung und die Optimierung der Beschaffung (Paepe et al. 2023).

KOMBINATION VON LEAF UND DER ECOMAPPING®-METHODE

Die oben vorgestellten Zertifizierungen LEAF und My Green Lab helfen bei der Umsetzung von Nachhaltigkeit, haben aber, wie dargestellt, auch Schwachpunkte. Beide sind online-basiert und haben einen festen Kriterien- bzw. Fragenkatalog. Sie mangeln daher einer gewissen Flexibilität und könnten die Gefahr bergen, dass bestimmte Kriterien in einem Labor übersehen werden. Zudem müssen sich Personen vor Ort nicht nur mit den Kriterien vertraut machen, sondern müssen sich auch das entsprechende Know-How einzeln erarbeiten, auch wenn unterstützende Dokumente online verfügbar sind. Gerade bei LEAF ist vorgesehen, dass nur eine Person, im Regelfall der oder die LaborleiterIn, den Fragenkatalog beantwortet und sich mit den Themen auseinandersetzt. Damit aber besteht die Gefahr, dass sich die anderen Labormitglieder nicht mit Nachhaltigkeitsthemen auseinandersetzen müssen.

Die Ecomapping®-Methode hat einen praktischen vor-Ort-Ansatz. Sie ist eine vereinfachte Form der Umweltprüfung wie sie EMAS fordert und sie ist Teil der EMASeasy™-Methode, die von Heinz-Werner Engels entwickelt und durch das WUQM-Consulting in Würzburg verbreitet wird. Die Inhaberin der NIUB-Nachhaltigkeitsberatung ist in der Durchführung der genannten Methode geschult und hat die Ecomapping®-Methode weiterentwickelt und auf das Labor adaptiert.

DIE ECOMAPPING®-METHODE

Die Ecomapping®-Methode, wie sie von der NIUB-Nachhaltigkeitsberatung durchgeführt wird, nimmt insgesamt sieben HSE-Themen im Labor unter die Lupe: Energie, Wasser, Abfall, Lagerung, Emissionen, Chemikalien & Consumables und Sicherheit. Diese sieben Themen werden in einer Laborbegehung gemeinsam im Team betrachtet. Zuvor wird das gesamte Team in einem halbtägigen Workshop zu den wichtigsten Nachhaltigkeitsaspekten im Labor geschult. Für die Laborbegehung wird das Team aufgeteilt und eine oder zwei Personen fokussieren sich auf einen konkreten Aspekt. Es gibt also das Team Wasser, Energie, Sicherheit usw. Bei der Begehung trägt jedes Team in den Grundrissplan des Labors (dies ist die sogenannte Ecomap) ein, was ihm oder ihr auffällt. Dazu zählen beispielsweise angeschaltete Geräte, obwohl daran gerade nicht gearbeitet wird, nicht getrennter Abfall, Chemikalien, die abgelaufen oder nicht gut geordnet sind, unnötiger Wasserverbrauch, nicht geschlossene Abzüge, Sicherheitsmängel, wie blockierte Türen usw. Eine Checkliste für jeden Aspekt dient als Hilfestellung und Orientierung, aber jede Person soll unabhängig davon konkrete Beobachtungen in die Ecomap

eintragen. Außerdem soll jede Person direkt priorisieren, ob beispielsweise das Beobachtete sofort geändert werden muss, eine zeitnahe Änderung notwendig ist oder aber erst einmal geprüft und dann gegebenenfalls geändert werden muss. Zur Dokumentation wird zusätzlich ein Foto gemacht. Basierend auf den Beobachtungen werden in einem direkt daran anschließenden, gemeinsamen Workshop Maßnahmen erarbeitet und nach Priorität, Durchführbarkeit, Kosten, Motivation und Umweltnutzen bewertet. Auf diese Weise resultiert ein sehr individueller Aktionsplan, den das Labor dann in seinem Tempo umsetzen kann. Die Ecomaps und Fotos dienen als einfache Form der Dokumentation, die Maßnahmen werden in einem Excel-Tool hinterlegt. Zusätzlich werden im Workshop direkt Verantwortlichkeiten zugeordnet. Offene Fragen, die sich in der Begehung ergeben, werden ebenfalls aufgenommen und nachrecherchiert. Nach ca. neun Monaten erfolgt eine Abschlussbesprechung, in der die durchgeführten Maßnahmen vorgestellt sowie mögliche Hindernisse dargestellt werden, die die Durchführung bestimmter Maßnahmen nicht möglich machten. Auf dieser Grundlage kann, wenn gewünscht, ein Bericht für die interne und externe Kommunikation erstellt werden.

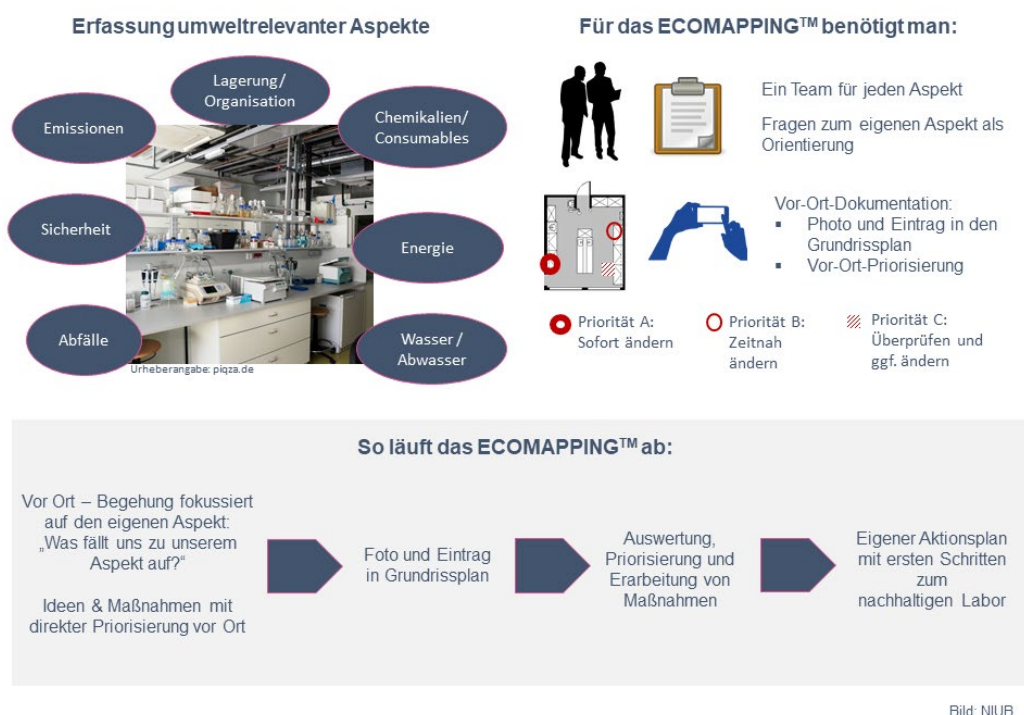


Abbildung 13: Ablauf der Ecomapping®-Methode.

Die Ecomapping®-Methode (Abb. 13) hat den Vorteil, dass sie sehr individuell auf die Bedürfnisse in einem Labor eingeht und mit ihrer Hilfe ein maßgeschneiderter Aktionsplan erstellt werden kann. Allerdings ist keine Zertifizierung vorgesehen, da keine festen Kriterien wie bei LEAF oder der My Green Lab-Zertifizierung vorgegeben sind. Vielmehr geht es darum, dass die Mitarbeitenden selbst Verbesserungspotenziale entdecken und fokussiert auf ihren eigenen Aspekt (Energie, Wasser, etc.) sehr genau hinschauen. Die Teilnehmenden erhalten für ihren Aspekt eine Checkliste, die aber lediglich als Orientierung dienen und nicht einfach abgearbeitet werden soll. Im Rahmen dieses Projekts wurde der praktische Ansatz der Ecomapping®-Methode mit dem Zertifizierungssystem LEAF kombiniert. Dadurch sollten die Vorteile beider Ansätze kombiniert und ein neues, für alle zugängliches Tool entwickelt werden.

Konkret entstehen durch die Verbindung beider Ansätze folgende Vorteile:

- 1) LEAF fragt bestimmte Kriterien je nach Zertifizierungslevel ab. Diese werden vor Ort im Labor betrachtet. Dadurch kann bereits leichter entschieden werden, ob dieses Kriterium erfüllt ist oder nicht, offene Fragen ergeben sich vor Ort und erste Ideen zur Umsetzung werden bereits entwickelt. Damit wird die Umsetzung vereinfacht.

- 2) Zu Beginn erhalten alle Teilnehmenden in einem Workshop die notwendigen Informationen zum nachhaltigen Arbeiten im Labor. Damit sind alle auf dem gleichen Stand. Gleichzeitig erhalten sie die Möglichkeit, zu bestimmten Aspekten Fragen zu stellen und sich untereinander auszutauschen. Manche Teilnehmende haben bereits Erfahrungen gesammelt, Best Practice entwickelt oder sind an Grenzen gestoßen – gerade das Workshopformat bietet eine wertvolle Plattform für den Austausch und ist eine gute Grundlage, um sich im gesamten Prozess zu unterstützen und nachhaltige Praktiken langfristig zu implementieren.
- 3) Die Laborbegehung erfolgt mit mehreren Mitarbeitenden, die sich in Teams zu einem bestimmten Themenbereich zusammenfinden. Damit befassen sich mehrere Personen mit der Nachhaltigkeitsthematik und eine spätere Umsetzung und Verankerung der Maßnahmen wird wahrscheinlicher.
- 4) Allein die Menge an Fragen und umzusetzenden Maßnahmen kann sehr umfangreich wirken. Die im Ecomapping® bereits vorgegebene Priorisierung, Vergabe von Verantwortlichkeiten für bestimmte Maßnahmen und ein Datum, wann eine bestimmte Maßnahme bearbeitet sein soll, erleichtert die Umsetzung. Das Labor erhält einen strukturierten Plan, den es nach und nach abarbeiten kann.

Am Ende des Workshops wurden die Teilnehmenden gebeten, das Tool auf Handhabbarkeit, Übersichtlichkeit und andere Kriterien zu bewerten. Dies diente unter anderem als Grundlage, um das Tool weiter zu verbessern.

ERARBEITUNG EINES BEWERTUNGSTOOLS: KOMBINATION VON LEAF UND ECOMAPPING®

Das Bewertungstool wurde in Excel erstellt auf Grundlage einer bereits vorhandenen Vorlage aus dem Ecomapping®. Diese Vorlage wurde ergänzt um die folgenden Punkte:

- 1) Die Vorgaben von LEAF für die einzelnen Zertifizierungsstufen (= Kriterien) wurden eingepflegt, mit den Checklisten aus dem Ecomapping® abgeglichen und um einige Punkte (v. a. im Bereich Sicherheit) ergänzt.
- 2) Den verschiedenen LEAF-Kriterien wurde, je nachdem zu welcher Zertifizierungsstufe sie gehörten (Bronze, Silber, Gold), eine entsprechende Gewichtung zugeordnet.
- 3) Die einzelnen Kriterien wurden in Kategorien wie Energie (Geräte), Abfall, IT, Lehre usw. eingeteilt. Das machte es später einfacher, die Kategorien verschiedenen Teams in der Begehung zuzuordnen.
- 4) Für die verschiedenen Kriterien wurde ein Impact vergeben, je nach ihrem Beitrag zur Nachhaltigkeit im Labor. Zum Beispiel ist das Heraufsetzen der Temperatur von Tiefkühlgeräten von -80 °C auf -70 °C eine Maßnahme, der die höchste Gewichtung zugeordnet wurde, da sie einen sehr hohen Impact hat.
- 5) Eine Bewertungsmöglichkeit der Machbarkeit einzelner Maßnahmen von leicht bis schwierig sowie eine Abschätzung der Kosten von Einsparungen bis zu erheblichem Investment wurde eingeführt. Dies sollen die Teilnehmenden in der Begehung selbst einschätzen.

Das Tool wurde so konzipiert, dass sich aus diesen Faktoren eine Priorisierung der Maßnahmen ergibt. Durch die Verknüpfung mit einem Startdatum ergibt sich damit automatisiert ein Plan an priorisierten Maßnahmen, der zeitlich hintereinander abgearbeitet werden kann. Somit wird der Fokus auf die wirklich wichtigen Dinge gelegt, die einen hohen Impact haben bzw. Maßnahmen, die sehr leicht umzusetzen sind (low hanging fruits). Zusätzlich werden Verantwortlichkeiten festgelegt.

Die praktische Durchführung erfolgte an zwei Workshoptagen, in denen Theorie und Praxis (= Laborbegehung und Auswertung) gemischt wurden. Der erste Workshop wurde an der TU Darmstadt durchgeführt.

Am ersten Tag wurden Grundlagen zum nachhaltigen Arbeiten im Labor vermittelt. Dies umfasste die Themenkomplexe Energie, Wasser, Verbrauchsmaterialien und Chemikalien, Abfälle, Beschaffung und Sicherheit sowie Best Practice-Beispiele.

Am zweiten Tag fanden die Laborbegehungen in verschiedenen Gruppen statt, die jeweils extern begleitet wurden (Dr. Kerstin Hermuth-Kleinschmidt, Bianca Schell, Prof. Dr. Nico Bruns). Dabei diente das Excel-basierte Tool als Grundlage und die Teams bearbeiteten jeweils verschiedene Themenfelder (s. oben: eine Kategorie wie Energie umfasste mehrere Kriterien, deren Erfüllung oder Nicht-Erfüllung geprüft wurde). Bei Nicht-Erfüllung wurden entsprechende Maßnahmen überlegt. Aufgrund der Fülle an Kriterien bearbeitete jedes Team nicht nur eine, sondern im Regelfall zwei Kategorien (z. B. Energie und Lehre). Dabei wurde darauf geachtet, dass es sich um Themen handelte, die die Laborarbeit direkt betreffen und andere, die eher übergreifenden Charakter haben (wie z. B. Lehre). Zudem wurde das Excel-Tool so gefiltert, dass jedes Team nur seine Kriterien gesehen hat. Darüber hinaus wurden die Teilnehmenden gebeten, alles was ihnen auffällt, in die ausgegebenen Grundrisspläne (= Ecomaps) einzutragen.

Einige Fragen in LEAF betreffen Lehre, Beschaffung oder Forschungsqualität – diese übergreifenden Kriterien wurden nach der Laborbegehung in den Gruppen reflektiert. Anschließend wurden offene Fragen und einzelne Maßnahmen gemeinsam ausgetauscht und geplant. Die Teilnehmenden füllten zudem einen Fragebogen zur Handhabbarkeit des Tools und weiteren Fragen zur Umsetzung aus, der dem Projektteam diente, um weitere Verbesserungen umzusetzen (Abb. 14). Dies wurde in allen folgenden Workshops ebenfalls eingesetzt.

No.	Umsetzung (bitte eintragen: 3=einfach; 2 = aufwändig; 1 = momentan nicht umsetzbar)	Impact	Kosten (3=spart Kosten; kein Investment notwendig; 2= keine Kosten; 1=Investment)	Priorität 120-140 = hoch 100-119 = mittel 1-100 = niedrig
7		3		0
8		4		0
9		4		0

Umsetzung x Impact x LEAF-Bewertung (Bronze, Silber, Gold) x Kosten

3 (einfach) x 4 (hoher Impact) x 3 (LEAF = bronze) x 1 (Investment notwendig)

= Priorität

→ Erzeugt ein Fälligkeitsdatum

→ wird automatisch erzeugt

Abbildung 14: Tool mit Priorisierung der Maßnahmen.

Aus dem ersten Workshop ergaben sich folgende Learnings:

- 1) Workshopkonzeption: die Aufteilung in einen Theorie- und einen Praxistag wurde bemängelt => die nächsten Workshops wurden zeitlich anders aufgeteilt in einen Theorieteil am Vormittag und einen Praxisteil mit Laborbegehung bzw. Auswertung und Austausch am Nachmittag.
- 2) Die Ecomaps erwiesen sich als unnötig – das Excelbasierte Tool reicht als Grundlage aus.

VERSION 2: ERARBEITUNG EIGENER KRITERIEN (UNABHÄNGIG VON LEAF) UND ERWEITERUNG DES TOOLS

Die Learnings aus dem ersten Workshop wurden umgesetzt und erwiesen sich als zielführend.

Im Laufe des Projekts wurde deutlich, dass nicht in allen Fällen eine LEAF-Zertifizierung gewünscht war. Dies ist vor allem darauf zurückzuführen, dass LEAF nicht kostenlos ist und einige Gruppen eine entsprechende finanzielle Unterstützung nicht erhalten haben. Wie bereits weiter oben erwähnt sollte

es allen Laboren ermöglicht werden, Nachhaltigkeit im Labor umzusetzen, unabhängig von ihrer finanziellen Situation.

Aus diesem Grund wurde das Tool noch einmal neu überdacht und inhaltlich neu aufgebaut. Die Themen im Labor bleiben grundsätzlich gleich, wie Energie, Wasser, Abfall oder Chemikalien und Verbrauchsmaterialien, aber es wurden auch vereinzelt neue Themen wie Reisen dazu genommen.

Zu all diesen Kategorien wurden eigene Kriterien verfasst, die in einem nachhaltigen Labor prinzipiell zu erfüllen sind. Diese Kriterien wurden aus öffentlich verfügbaren „Green Lab Guides“, Veröffentlichungen sowie eigenen Erfahrungen des Projektteams zusammengestellt. So ergaben sich insgesamt 121 Kriterien, geclustert in insgesamt 13 Kategorien.

Gleichzeitig wurde versucht, die Handhabung des Excel-Tools für die NutzerInnen weiter zu vereinfachen. So kann nun nach den verschiedenen Kategorien gefiltert werden, was zuvor nicht möglich war. Außerdem wurde als weiteres Feature die Filtermöglichkeit nach Labortyp (biologisches oder chemisches Labor) eingeführt, denn einige Kriterien sind nur für biologische, andere nur für chemische Labore relevant. Auch dies soll die NutzerInnenfreundlichkeit erhöhen. In mehreren Workshops (insgesamt drei) wurde dieses Tool ausgetestet.

Aus diesen Workshops kam vor allem die Rückmeldung, dass ein Excel-basiertes Tool umständlich und nicht unbedingt intuitiv ist. Daher wurde schon während des Projektzeitraums nach Möglichkeiten gesucht, eine App-basierte Variante zu entwickeln, deren Entwicklung nach Ende des NachLabs Projekts vorangetrieben wird. Auch inhaltlich wurde das Tool weiter auf Konsistenz, mögliche Dopplungen, unklare Aussagen etc. geprüft. Außerdem wurden Erklärungen zu bestimmten Maßnahmen sowie weiterführende Quellen hinterlegt.

ANBINDUNG AN VORHANDENE ZERTIFIZIERUNGSPROGRAMME

Das erarbeitete Tool ist mit 121 Kriterien umfangreicher als das LEAF-Programm, viele Themenbereiche überschneiden sich natürlicherweise und inhaltlich ergeben sich keine großen Abweichungen. In einem letzten Workshop sollte das aktualisierte umfangreiche Tool genutzt werden, um in diesem Fall auf Wunsch der Teilnehmenden zu einer LEAF-Zertifizierung zu führen. Daher wurden die Kriterien des Tools mit den entsprechenden LEAF-Kriterien verglichen und entsprechend zugeordnet, einschließlich der Zertifizierungsstufe. So kann nun direkt abgeleitet werden, welches Kriterium im Tool einem bestimmten Kriterium bei LEAF entspricht. Unser Tool hat einige Kriterien, die in LEAF unter einem Kriterium zusammengefasst sind, aufgesplittet und mehrere Kriterien daraus gemacht. Dadurch soll sehr konkret auf einzelne Maßnahmen eingegangen werden.

Durch den Abgleich mit den LEAF-Kriterien ist das Tool nun auch für Hochschulen einsetzbar, die sich entsprechend nach LEAF zertifizieren lassen möchten. Insgesamt wird der Zertifizierungsprozess erleichtert. Gleichzeitig werden noch weitere Kriterien abgefragt und damit versucht, möglichst viele Aspekte zu berücksichtigen.

SCHLUSSFOLGERUNGEN UND HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN

Die Kombination von Ecomapping® und LEAF führt zu einer Erleichterung in der Umsetzung. Allerdings musste das Ecomapping® angepasst und verschlankt werden – beispielsweise hat sich der Eintrag in „Ecomaps“ (Grundrisspläne) als unnötig erwiesen. Die zugrundeliegende Priorisierung und der Einbezug weiterer Faktoren wie Kosten, Umsetzbarkeit und Verantwortlichkeit bestimmter Personen für die Umsetzung von Maßnahmen hat sich prinzipiell als wertvoll erwiesen, wobei Kosten oftmals schwer zu schätzen waren und nicht immer angegeben wurden. Im Laufe des Projekts wurde das Tool immer wieder verändert und angepasst, um den Bedürfnissen der NutzerInnen gerecht zu werden. Insgesamt gestaltete sich die Handhabung im Excel-Format allerdings als herausfordernd und die NutzerInnenfreundlichkeit war am Ende aufgrund des Umfangs nicht mehr gegeben. Vor diesem Hintergrund wird an einer App-basierten Lösung gearbeitet.

Aus dem Projekt ergeben sich folgende **Handlungsempfehlungen**:

- 1) Workshops sind ein guter Kick-off für den Start, um ein Nachhaltigkeitsprojekt in einer Organisation zu starten. Durch die Wissensvermittlung werden alle auf einen gemeinsamen Stand gebracht. Gleichzeitig – und auch das wurde in allen Workshops deutlich – sind einige NutzerInnen bereits sehr gut mit den Themen vertraut und haben bereits Lösungen erarbeitet. Diese wurden teilweise in Laborbegehungen gezeigt. Durch den Austausch in einer Gruppe, an der mehrere Labore aus verschiedenen Arbeitskreisen und Fakultäten teilnehmen, wird so bereits vorhandenes Wissen weiter gestreut.
- 2) Die Priorisierung von Kriterien sorgt dafür, dass zunächst Themen mit großem Impact angegangen werden, die aber auch umsetzbar sind. Die Verknüpfung mit einem Datum (bis wann soll eine bestimmte Maßnahme umgesetzt werden?) und die Zuteilung zu einer verantwortlichen Person sollen dazu führen, dass der Prozess nicht mittendrin stockt oder gar nicht zu Ende geführt wird.
- 3) Die Bearbeitung in Teams erlaubt es, sich auf wenige Themen zu konzentrieren und dadurch nicht von der Fülle an Themen erschlagen zu werden. Eine Fokussierung auf nur einen Themenaspekt, wie im Ecomapping®, ist nicht unbedingt notwendig.
- 4) In Laborbegehungen sollte darauf geachtet werden, wirklich durch das gesamte Labor zu gehen und die verschiedenen Kriterien abzugleichen mit dem, was auch tatsächlich vor Ort auffällt. Zum Beispiel ist es sinnvoll zu schauen, ob wirklich alle Abzüge geschlossen sind, wenn sie nicht benötigt werden, usw.
- 5) Für die gesamte Organisation ist es notwendig, eine/n AnsprechpartnerIn und KoordinatorIn zu haben. Hierfür sollte eine Person abgestellt werden, die den gesamten Prozess begleitet. Zu den Aufgaben gehört es beispielsweise, im Vorfeld genug interessierte Labore und Personen für die Teilnahme zu finden, Termine zu koordinieren und in den Workshops beispielsweise alle offenen Fragen und Themen aufzunehmen, die intern weiter bearbeitet werden müssen.
- 6) Nach den Laborbegehungen wurden im abschließenden Teil oftmals auch organisationsübergreifende Probleme angesprochen und diskutiert sowie die Frage gestellt, wie nicht nur ein möglicher Zertifizierungsprozess (wenn gewollt), sondern insgesamt das Nachhaltigkeitsthema vorangebracht werden können. Auch hier ist es wichtig, eine/n AnsprechpartnerIn zu haben, der bzw. die die Koordination übernimmt und im besten Fall eine Anbindung an das Nachhaltigkeitsmanagement der Universität / Organisation hat (oder diese/n sogar zum Workshop einlädt, wie es im Projekt einmal der Fall gewesen ist).
- 7) Durch die Entkopplung des hier entwickelten Tools von der LEAF-Zertifizierung und einem Open Access-Zugang wird die Möglichkeit gegeben, dass sich jedes Labor, unabhängig von seiner finanziellen Situation, in einer strukturierten Weise mit dem Nachhaltigkeitsthema auseinandersetzen kann.

MINIATURISIERUNG: INNOVATION UND PERSPEKTIVEN

EINLEITUNG

Die Wissenschaft ist eine der zentralen Säulen unserer Gesellschaft und trägt entscheidend zur wirtschaftlichen und sozialen Entwicklung bei, vor allem für die Lösung von aktuellen ökologischen und ökonomischen Problemen ist sie essentiell (Schell und Bruns, 2024b). Eine der vielversprechendsten Ansätze in universitären Forschungslaboren zur Reduzierung von technischen Ressourcen ist die Miniaturisierung von Analysegeräten. Die Miniaturisierung ermöglicht es, Geräte kleiner, effizienter und oft auch kostengünstiger zu machen (Hemida et al., 2023). Doch trotz dieser Vorteile wird die Miniaturisierung in akademischen Einrichtungen bislang nur sporadisch vorangetrieben. Die Aufgabe des IUTA e. V. im Rahmen des DBU-Projektes NachLabs war es, die Vorteile der Miniaturisierung für die akademischen Forschungslabore darzustellen sowie die aktuellen Herausforderungen zu identifizieren und durch Erhebung von spezifischen Kenndaten Maßnahmen und Handlungsanweisungen zu definieren, die notwendig sind bzw. dabei unterstützen können, um diese Technologie in der akademischen Forschung weiter zu verbreiten und damit auch einen Einzug in die Industrie zu ebnen. Eine vollständige Abdeckung des gesamten Themengebiets der Miniaturisierung war im Rahmen des Forschungsvorhaben nicht möglich, weshalb eine Fokussierung auf die Hochleistungsflüssigkeitschromatographie und Massenspektrometrie erfolgte. Diese Systeme sind in nahezu jedem analytischen Forschungslabor vorhanden. Siehe hierzu auch die Ergebnisse der Umfrage zu Abbildung 5 bezüglich chromatographischer und spektroskopischer Methoden.

Miniaturisierte Laborsysteme sind darauf ausgelegt, mit geringeren Mengen an Rohstoffen und Chemikalien auszukommen. Das bedeutet nicht nur eine direkte Kosteneinsparung, sondern auch eine Reduktion des ökologischen Fußabdrucks. Insbesondere in der heutigen Zeit, in der Nachhaltigkeit eine zentrale Rolle spielt, ist dies ein wichtiger Aspekt. Durch den geringeren Materialverbrauch tragen miniaturisierte Systeme dazu bei, die Wissenschaft nachhaltiger und umweltfreundlicher zu gestalten.

VORTEILE DER MINIATURISIERUNG IN UNIVERSITÄREN LABOREN

Die Miniaturisierung in Laboren bietet eine Vielzahl von Vorteilen, die sowohl den Forschungseinrichtungen als auch der Gesellschaft zugutekommen. Nachfolgend sind einige der wichtigsten Vorteile beschrieben.

REDUZierter RESSOURCENVERBRAUCH

Der Einsatz miniaturisierter Hochleistungsflüssigkeitschromatographie (HPLC) in Kombination mit Massenspektrometrie (MS) bietet ein enormes Potenzial zur Effizienzsteigerung in der Laboranalytik (Mejía-Carmona et al., 2020). Obwohl diese Kopplungstechnologie erhebliche Vorteile hinsichtlich Ressourcenschonung und Energieeffizienz bietet, wird sie in vielen Laboren bislang kaum eingesetzt. Ein entscheidender Vorteil der Miniaturisierung der HPLC liegt im deutlich reduzierten Verbrauch von Lösungsmitteln (Werres et al. 2023). Dies führt direkt zu Synergieeffekten bei der Kopplung mit MS. Diese Kopplung erfolgt über die Ionisationsquelle des MS, in dem die zu analysierende Substanz in einen ionisierten Zustand überführt werden muss. Bei konventionellen HPLC-MS-Systemen muss ein hoher Energieaufwand betrieben werden, um die großen Mengen an Lösungsmitteln zu verdampfen.

Für die Desolvatisierung kommen dabei beispielsweise Stickstoffflüsse von bis zu 20 L/min zum Einsatz. Dieser hohe Gasfluss geht zusätzlich mit einem erheblichen Energiebedarf einher, da große Mengen Gas erhitzt und durch die Quelle geleitet werden müssen. Hierbei müssen in MS-Quellen oft bis zu 500 °C erreicht werden. Miniaturisierte-Systeme benötigen hingegen weitaus geringere Gasströme und Temperaturen, in einigen Fällen kann vollständig darauf verzichtet werden. Hierdurch wird der Energieaufwand für die Gasaufheizung und die Temperaturstabilisierung deutlich reduziert. Dies verringert nicht

nur den Energieverbrauch, sondern minimiert auch den Verschleiß der Geräte und erhöht deren Lebensdauer. Die Elektrospray-Ionisation (ESI) ist dabei die häufigste eingesetzte Ionisationsquelle in der HPLC-MS Kopplung (Liigand et al., 2021). Hierbei erzeugt ein elektrisch geladenes Feld feinste Tröpfchen, aus denen Ionen in die Gasphase überführt werden. Typisch benötigte Parameter für den Betrieb in Abhängigkeit des Miniaturisierungsgrades sind in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2: Typische Parameter für den robusten Betrieb einer ESI-Ionisationsquelle in Abhängigkeit vom Miniaturisierungsgrad. RT=Raumtemperatur.

Parameter	Nano-ESI (100 nL–1 µL/min)	Micro-ESI (1–50 µL/min)	Konventionelle ESI (50–1000 µL/min)
Sprühspannung	1,5 – 2,5 kV	2,5 – 4,0 kV	3,0 – 5,5 kV
Quellentemperatur	RT – 100 °C	50 – 200 °C	200 – 500 °C
Temperatur Transferkapillare	150 – 250 °C	200 – 300 °C	250 – 350 °C
Curtaingas	0–5 psi	5–20 psi	20–60 psi
Hilfsgas	Meist nicht benötigt	0–10 psi	10–30 psi
Desolvationsgas	Meist nicht benötigt	1–10 L/min	10–20 L/min
Emitterdurchmesser	1–5 µm	10–50 µm	50–150 µm

Ein weiterer Vorteil der Miniaturisierung ist der verringerte Aufwand zur Entsalzung. In herkömmlichen Systemen werden große Mengen an Lösungsmitteln verwendet, die mit Additiven wie Salzen versetzt werden. In den meisten Fällen handelt es sich um volatile Additive, durch Verunreinigungen wird aber die Gefahr von Salzablagerungen erhöht. Hauptsächlich tragen jedoch die Matrixbestandteile, also diejenigen Verbindungen einer Probe, die in einem großen Überschuss vorliegen, maßgeblich zur Verunreinigung der Ionisationsquelle bei. Miniaturisierte Ansätze tragen jedoch weniger Lösungsmittel ein und erfordern daher weniger Entsalzungsmaßnahmen, was zusätzliche Kosten und Zeit spart. Durch geringere Probenaufgabevolumina wird auch hier die Verunreinigung der Quelle reduziert, Reinigungsintervalle verlängern sich und die Datenintegrität wird verbessert. Abbildung 15 verdeutlicht das Problem der Verunreinigungen in einer Ionisationsquelle.



Abbildung 15: Extremfall einer Verunreinigung durch Salzablagerungen in der Ionisationsquelle nach der Analyse stark salzhaltiger Proben ohne ausreichende Vorkehrungen zur Entsalzung.

Obwohl die miniaturisierte Kopplung in der Praxis erhebliche Einsparungen bei Lösungsmitteln, Strom, Gas und Wartungsarbeit ermöglicht, wird sie bisher nur selten eingesetzt. Der verstärkte Einsatz

miniaturisierter HPLC in Kombination mit jeglichen Detektionsmethoden könnte jedoch langfristig zu nachhaltigen Einsparungen führen und die Umweltbelastung in wissenschaftlichen Laboren deutlich reduzieren. Es ist daher dringend zu empfehlen, die Miniaturisierung in der Laboranalytik stärker zu fördern und in der Praxis einzusetzen. Abbildung 16 verdeutlicht das Einsparungspotenzial von Lösemitteln beim Einsatz miniaturisierter HPLC-Systeme.

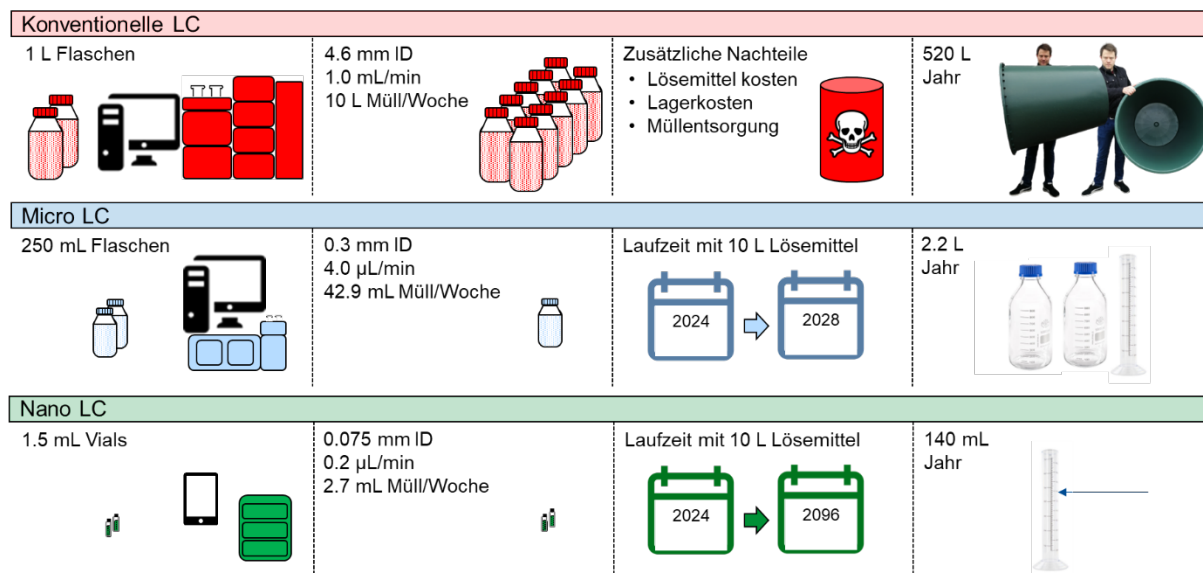


Abbildung 16: Vergleich des Lösemittelverbrauchs einer konventionellen LC-Methode mit den miniaturisierten alternativen der Mikro- und Nano LC. Ausgangspunkt ist der Vergleich einer Methode wie sie auch heutzutage noch im Arzneimittelbuch vorgeschrieben ist. Für den Vergleich mit den miniaturisierten Alternativen wurden übliche HPLC-Säulendimensionen ausgewählt und die Flussrate angepasst, um eine konstante Analysendauer zu gewährleisten. Spalte eins symbolisiert den üblichen Aufbau der betrachteten Systeme. Spalte zwei fasst die eingesetzten Dimensionen der chromatographischen Trennphase, den benötigten Lösemittelfluss und den produzierten Abfall bei Dauerbetrieb pro Woche zusammen. In Spalte drei sind für das konventionelle HPLC-System versteckte Kosten gezeigt, die häufig in einer ganzheitlichen Betrachtung fehlen; für die miniaturisierten Systeme ist dargestellt, wie lange diese mit dem wöchentlichen Verbrauch des konventionellen Systems betrieben werden könnten. Spalte vier zeigt die Menge des Lösemittelabfalls innerhalb eines Jahres unter Annahme des Dauerbetriebs.

Um die Effizienz miniaturisierter HPLC-Systeme, insbesondere im Hinblick auf den Probendurchsatz, zu verdeutlichen, reicht es nicht aus, lediglich die Einsparung von Lösemitteln zu betrachten. Ein entscheidender Parameter ist die lineare Fließgeschwindigkeit, die beschreibt, wie schnell die mobile Phase durch die Säule strömt. Sie wird in einer linearen Distanz pro Zeiteinheit gemessen, typischerweise in cm/s.

Wird die lineare Fließgeschwindigkeit bei der Variation des Säulendurchmessers konstant gehalten, kann davon ausgegangen werden, dass die Analyse in derselben Zeit erfolgt. Miniaturisierte Systeme ermöglichen jedoch deutlich höhere Fließgeschwindigkeiten.

Ein Beispiel dafür ist die extrem schnelle HPLC-MS-Analytik von 30 Pharmazeutika und Körperpflegemitteln innerhalb von nur **25 Sekunden**. Hierbei kam eine Säule mit einem Innendurchmesser (ID) von **0,3 mm** und einer Flussrate von **50 µL/min** zum Einsatz. Eine Übertragung dieser Methode auf den konventionellen Maßstab mit einer Säule von **4,6 mm ID** würde eine Flussrate von **11,8 mL/min** erfordern. Ein Wert, der mit aktuellen Ionisationsquellen nicht realisierbar ist.

Ein Vergleich der dabei erzeugten Lösemittelabfälle verdeutlicht die Vorteile der Miniaturisierung: Während bei der miniaturisierten Methode lediglich **0,02 mL** Lösemittel pro Analyse anfallen, entstehen bei der konventionellen Methode **4,9 mL**. Dies entspricht einer Einsparung um den Faktor **235**.

HARTE FAKTEN DER STROMVERBRAUCH VON LABORSYSTEM UND DEREN ERMITTLUNG

Der Energieverbrauch von Großgeräten ist ein bekannter und entscheidender Kostenfaktor im Laborbetrieb. Dennoch fehlt in vielen Fällen ein vollständiger Überblick über den tatsächlichen Verbrauch einzelner Geräte. Um diese Lücke zu schließen wurde im Rahmen des Projekts eine Methodik entwickelt, die den Verbrauch detailliert und kleinschrittig überwacht.

Da die Finanzierung in universitären Laboren zunehmend begrenzt ist, musste die Methode sowohl kostengünstig als auch leicht zugänglich gestaltet werden, insbesondere durch den Einsatz von Open-Source-Softwarelösungen. Zur Erhebung der relevanten Daten kam daher eine flexible IoT-Lösung aus dem Smart-Home-Bereich zum Einsatz. Hierbei wird das energiesparende ZigBee-Kommunikationsprotokoll verwendet, das hohe Sicherheitsstandards gewährleistet (Gupta & Singh, 2021).

Das System besteht aus einem zentralen Koordinator als Steuereinheit, während Smart-Plugs Stromverbrauchsmessungen ermöglichen. Für die Realisierung dieser plattformunabhängigen, modularen Lösung wurden die Open-Source-Tools InfluxDB und Grafana verwendet (Aggoune & Benratem, 2023).

Bei InfluxDB handelt es sich um eine leistungsstarke, speziell für Zeitreihendaten optimierte Datenbank. Sie ermöglicht das effiziente Speichern und Verarbeiten des Stromverbrauchs. Grafana dient lediglich der Visualisierung der Daten. Mit einer intuitiven Benutzeroberfläche lassen sich so aussagekräftige Dashboards erstellen, die Echtzeit-Analysen und historische Datenübersichten bieten.

Durch die Kombination dieser Tools entsteht eine flexible und kostengünstige Grundlage für das Energiemonitoring von Messsystemen im universitären Betrieb. Zudem kann das System problemlos mit weiteren IoT-Geräten erweitert werden, wie Sensorik, die beispielsweise die Erfassung von Temperatur oder Gasströmen ermöglicht. Der prinzipielle Aufbau ist in Abbildung 17 dargestellt.

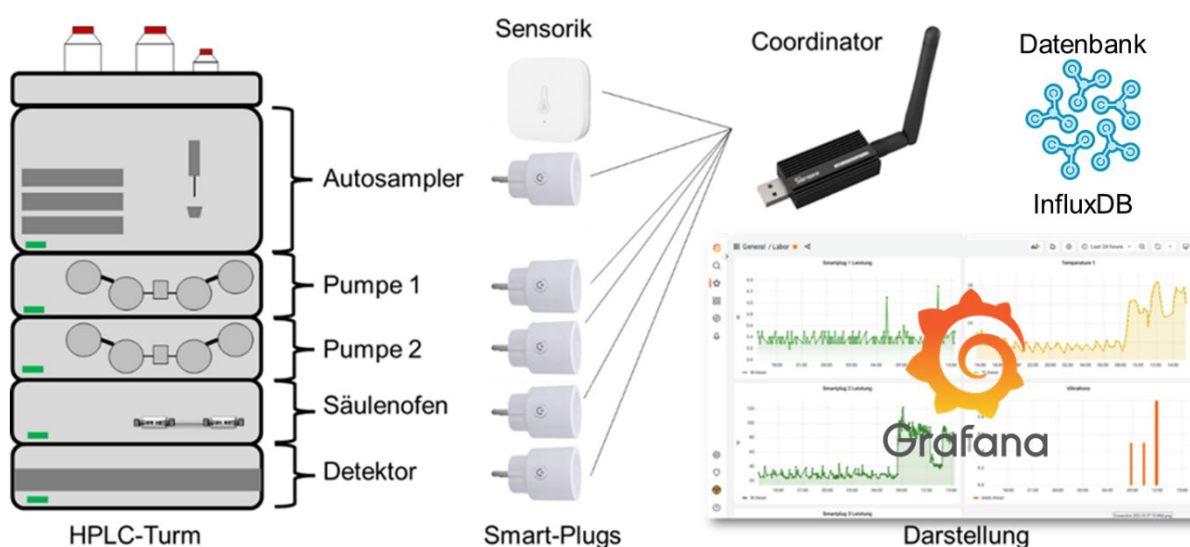


Abbildung 17: Beispielhafter Aufbau des Monitoringkonzepts auf Basis von ZigBee. Die Smart-Plugs erlauben eine Aufzeichnung des Stromverbrauchs der einzelnen Funktionsmodule des HPLC-Systems. Einfache Sensorik kann zur Messung der Abwärme einzelner Bauteile genutzt werden. Die Daten werden anschließend über den Koordinator gesammelt und in die Datenbank InfluxDB geschrieben. Eine personalisierte Darstellung der Daten in Dashboards kann über Grafana erfolgen.

Im Rahmen der Projektlaufzeit wurde ein Langzeitmonitoring des Energieverbrauchs eines hochauflösenden Time-of-Flight-Massenspektrometers mit integrierter Ionenmobilität (HRMS-IMS-TOF) durchgeführt. Über einen Zeitraum von einem Jahr lag der Energieverbrauch des Systems bei etwa 9.220 kWh. Zum Vergleich: Der Verbrauch eines solchen Großgeräts entspricht laut Daten des Statistischen

Bundesamts ungefähr dem Jahresverbrauch von zwei bis drei Personen Haushalten in Deutschland¹⁰. Die heutige Miniaturisierung in der Massenspektrometrie beschränkt sich, außerhalb akademischer Ansätze (Hemida et al 2023), in der Regel auf einfache Anpassungen an der Ionisationsquelle, wie beispielsweise die Reduktion des Innendurchmessers der Emitterkapillare. Dadurch werden jedoch nur Einsparungen im Bereich der Ionisationsquelle erzielt. Bei der Kopplung miniaturisierter HPLC- und MS-Systeme wird somit lediglich ein geringer Teil des potenziellen Einsparpotenzials ausgeschöpft. Ein signifikanter Anteil der Energiekosten, etwa ein Drittel, entfällt zum Beispiel auf den Betrieb der Pumpe, die zur Erzeugung des Hochvakuums notwendig ist. Diese Pumpe muss selbst im Stand-by-Betrieb des Systems durchgehend auf Volllast laufen. Eine weitergehende Miniaturisierung des gesamten Massenspektrometers könnte hier erhebliche Vorteile bieten: Durch die Verkleinerung des Systems müsste somit nur noch ein geringerer Volumenbereich evakuiert werden, was die Leistungsanforderungen an die Pumpe drastisch reduzieren und somit den Energieverbrauch senken könnte.

Wie erwähnt lässt das etablierte Monitoringsystem auch eine kleinteilige Betrachtung von einzelnen Systemkomponenten zu. Hierzu wurden zwei HPLC-Pumpenmodule der Firma Shimadzu verglichen. Hierbei zeigte sich, dass bei kommerziell verfügbaren Systemen keine pauschale Korrelation zwischen dem Grad der Miniaturisierung und dem Stromverbrauch besteht. So konnte bei den konventionellen Systemen ein deutlicher Unterschied zwischen Stand-by und Normalbetrieb beobachtet werden, im Durchschnitt 48 W (23 W + 25 W) zu 95 W (40 W + 45 W). Der geringe Unterschied zwischen beiden Pumpen kann durch die unterschiedliche Viskosität der eingesetzten Lösemittel, Acetonitril und Wasser erklärt werden. Beim miniaturisierten System lag der Verbrauch unabhängig vom Betriebszustand bei 92 W. Beispielhaft sind hierfür in Abbildung 18 die Verbrauchsdaten für ein konventionelles und das binäre miniaturisierte Pumpensystem gegenübergestellt. Auch wenn es zumindest im konventionellen Maßstab wie beispielsweise mit der Net Zero Kampagne von Agilent¹¹ oder der Eco-Products Plus Serie von Shimadzu¹² erste Impulse eines Umdenkens in der Industrie gibt, zeigt diese Untersuchung, dass der Faktor der Energieeinsparung bei den Herstellern von Endgeräten noch nicht angekommen ist und aus der Forschung heraus etabliert werden muss.

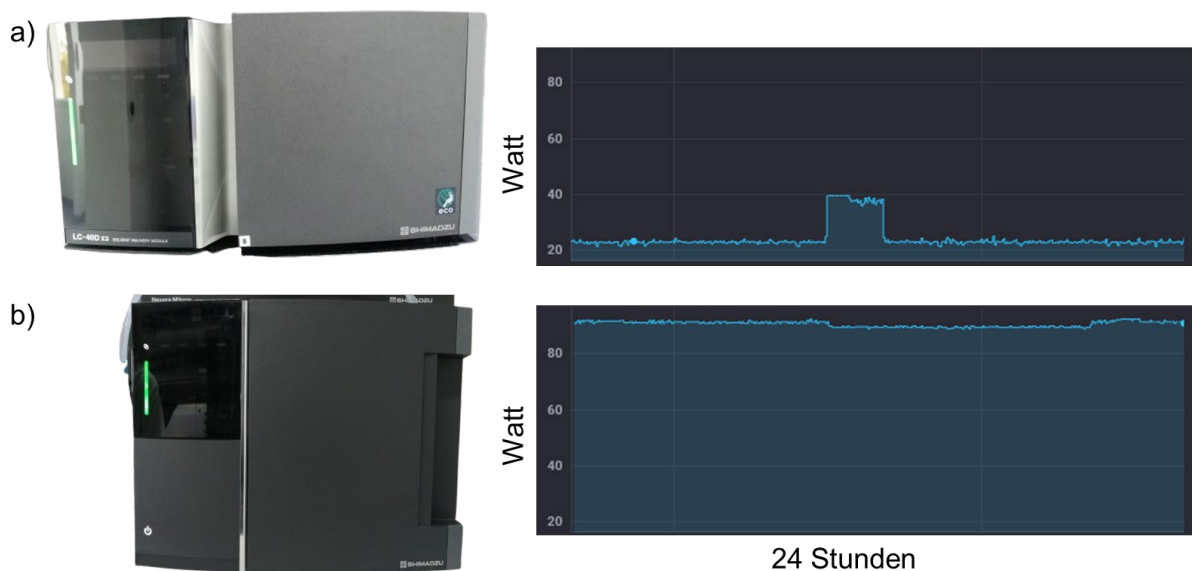


Abbildung 18: Vergleich von zwei HPLC-Modulen bezüglich des Stromverbrauchs innerhalb eines Tages. A) Shimadzu LC 40Dx 3 für den konventionellen Flussbereich. B) Shimadzu Nexera Mikros Pumpe für den Betrieb im Mikrofluss.

Dass die Forschung hier tatsächlich einen Impact haben kann, verdeutlicht die Datenerhebung eines zuvor in Kooperation mit der Dr. Licht GmbH entwickelten miniaturisierten Fluoreszenzlichtdetektors

¹⁰ <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Umwelt/UGR/private-haushalte/Tabellen/stromverbrauch-haushalte.html>

¹¹ <https://www.agilent.com/about/companyinfo/sustainability/net-zero-fact-sheet.html>

¹² <https://www.shimadzu.com/industry/products/eco/index.html>

(FLD) (Werres et al 2022). Dieser besteht aus einem Detektor, einem Spektrometer sowie einem Einplatinencomputer zum Betrieb und der Datenaufzeichnung. Im Schnitt verbrauchte das Gesamtsystem 10 W und ist damit auch für den Feldeinsatz geeignet. Die Ergebnisse der Messung sind in Abbildung 19 dargestellt.

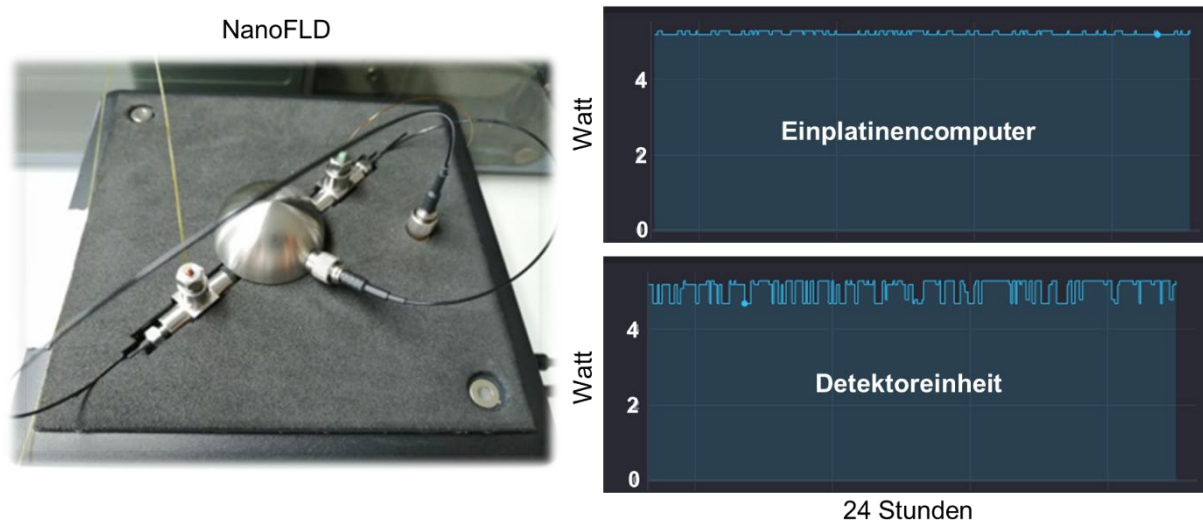


Abbildung 19: Darstellung der Daten zum Stromverbrauch des vollminiaturisierten Fluoreszenzlichtdetektors, aufgeteilt in den Verbrauch des Einplatinencomputers und der Detektoreinheit.

EFFIZIENTERE NUTZUNG VON LABORFLÄCHEN UND FLEXIBILITÄT DER ANALYTIK

Wie zu Beginn erwähnt, gehören Laborgebäude zu den größten Energieverbrauchern in der Immobilienlandschaft und verbrauchen im Schnitt drei- bis fünfmal mehr Energie pro Quadratmeter als Büroflächen. Dieser hohe Verbrauch resultiert aus der komplexen technischen Ausstattung und den strengen Anforderungen an Belüftung, Temperaturregelung und Sicherheitsmaßnahmen. Allem voran ist jedoch der Luftwechsel in Laboren der höchste Kostenfaktor. So empfiehlt die TRGS 526 eine Luftwechselrate von 25 m³/m² in der Stunde. Dies entspricht bei einer Deckenhöhe von 3 m einem 8-fachen Wechsel der Laborluft pro Stunde. Dieser Wert fußt jedoch nicht auf wissenschaftlichen Kennzahlen, sondern wurde im Sinne des Arbeitsschutzes relativ hoch angesetzt. In Abschnitt 6.2.5 Lüftung der TRGS 526 ist jedoch definiert, dass unter gewissen Voraussetzungen der Luftwechsel unter Dokumentation reduziert werden kann. Da bei miniaturisierten HPLC-Systemen generell weniger Lösemittel zum Einsatz kommt sowie vorgehalten werden muss, ist auch die potenzielle Kontamination der Laborluft reduziert. Hierdurch kann durch Reduktion auf beispielsweise den vierfachen Luftwechsel in einem Labor eine signifikante Kosteneinsparungen erreicht werden.

Ein weiterer Weg, wie Miniaturisierung zur Minimierung des Fußabdrucks von Laboren führen kann, ohne Änderung der Regularien durchzusetzen, ist die Reduzierung der Laborfläche durch vollständig miniaturisierte Geräte. Diese benötigen weniger Platz als ihre konventionellen Pendanten. Dadurch können Laborflächen effizienter genutzt werden. Dies ist insbesondere vor dem Hintergrund der stark gestiegenen Energiepreise und Mieten relevant. Deshalb wurden im Rahmen des Projekts die Kennzahlen von bestehenden Systemen ermittelt und mit Entwicklungen im Markt verglichen. Hierbei wurden mehrere Erkenntnisse extrahiert.

Interessanterweise zeigt sich häufig keine klare Korrelation zwischen der Größe eines Systems und dem Miniaturisierungsgrad (NanoLC, MikroLC, konventionelle LC) bei aktuellen Systemen. Beispielsweise sind MikroLC und NanoLC-Geräte von Sciex in neueren Iterationen oft voluminöser geworden. Hersteller wie Agilent hingegen ändern am Formfaktor wenig und passen lediglich Kapillaren und Ventile

an, um miniaturisierte Anwendungen zu unterstützen. Dieses Vorgehen birgt jedoch ein weiteres Problem. Durch den modularen Aufbau entstehen zusätzliche Totvolumina, die die Effizienz miniaturisierter Systeme beeinträchtigen und den eigentlichen Vorteil der Miniaturisierung konterkarieren (Werres et al. 2021). Bei Shimadzu wurde eine Reduktion des Formfaktors durch die Integration von einem binären Pumpensystem in einem Modul erreicht, weitere Systemkomponenten wie der Autosampler oder das HPLC-Systemsteuerungsmodul, die zum Betrieb essenziell sind, wurden nicht miniaturisiert.

Dies verdeutlicht, dass bei etablierten Anbietern der Fokus nicht auf der Reduktion des Platzbedarfs liegt. Dieses oft ungenutzte Potenzial kleinerer Geräte beeinträchtigt die nachhaltige Entwicklung. Laborgeräte könnten tragbar gestaltet und direkt an Versuchsanlagen oder -Reaktoren eingesetzt werden, was die Laborfläche weiter reduziert und gleichzeitig die Flexibilität in der Forschung erhöht (Thoben et al., 2022). Auch der aufwendige Probenversand ins Labor könnte entfallen, und die Datenerhebung könnte direkt vor Ort implementiert werden. Diese Flexibilität kann die Reaktionszeit in wissenschaftlichen Fragestellungen oder bei der Lösung von wissenschaftlich-technischen Fragestellungen deutlich verkürzen. Diese Vorteile zeigen, dass eine durchdachte Miniaturisierung nicht nur Platz spart, sondern auch die Arbeitsweise in der universitären Landschaft revolutionieren könnte. Ein Beispiel für die Umsetzung dieses Trends liefert die amerikanische Firma Axcend. Diese hat ein tragbares HPLC-System inklusive Detektor entwickelt, welches lediglich 8 kg wiegt und die Dimensionen von 21,6 x 35,5 x 20,3 cm aufweist¹³.

Die Analyse zeigt, dass die Miniaturisierung von HPLC-Systemen erhebliche Vorteile in Bezug auf Energieeinsparung, Effizienz und Flexibilität bietet. Dennoch bleibt der Fokus vieler Hersteller auf konventionellen oder lediglich modular angepassten Systemen, ohne das volle Potenzial einer echten Miniaturisierung auszuschöpfen. Eine verstärkte universitäre Forschung im Bereich tragbarer Systeme könnte nicht nur den Platz- und Energiebedarf von Laboren reduzieren, sondern auch die Datenerhebung und -verarbeitung erheblich beschleunigen. Dadurch lassen sich die größten Energie- und Kostentreiber im Laborbetrieb nachhaltig reduzieren.

DIE HERAUSFORDERUNGEN DER MINIATURISIERUNG IN LABOREN

Die Miniaturisierung im wissenschaftlichen Bereich wird von mehreren Barrieren aufgehalten, die es zu überwinden gilt. Im folgenden Kapitel wird auch auf einige Kernaspekte eingegangen, aus denen sich wiederum die durchgeführten Arbeiten des IUTA e. V. im Projekt NachLabs herleiten lassen. Sie sind in die folgenden drei Hauptprobleme untergliedert:

KOMPLEXE BÜROKRATISCHE UND ADMINISTRATIVE STRUKTUREN

An vielen Universitäten und akademischen Einrichtungen gibt es etablierte Prozesse und Strukturen, die sich im Laufe der Zeit entwickelt haben. Diese Strukturen haben sich in vielen Fällen als erfolgreich erwiesen und bieten Stabilität im Forschungsalltag. Der Nachteil ist jedoch, dass neue Technologien, wie etwa die Miniaturisierung, nur schwer in bestehende Arbeitsabläufe integriert werden können. Solche traditionellen Strukturen führen häufig zu einer abwartenden Haltung gegenüber Innovationen.

Um das Potenzial der Miniaturisierung auszuschöpfen ist es notwendig, diese Strukturen zu durchbrechen. Veränderungen im Laborbetrieb sind dabei nicht nur eine Frage der Technologie, sondern auch der Schulung und Motivation des Personals. Forschende müssen unterstützt werden, neue Methoden in ihre Arbeit zu integrieren. Zur Unterstützung dieser Prozesse müssen Methoden etabliert werden, die es Forschungsgruppen ermöglichen, Einsparpotenziale zu identifizieren. Der im Projekt etablierte Ansatz zur Bestimmung der Energieverbräuche kann hier ein valider Ansatz sein, in dem

¹³ White Paper Axcend : <https://axcendcorp.com/wp-content/uploads/2023/06/Axcend-Focus-LC-2023-Specifications-2.pdf>

Kosteneinsparungen direkt an die einzelnen Lehrstühle oder Institute der Universität ausgezahlt werden, um auf diese Weise zusätzliche Mittel für die Forschung zu generieren.

EINGESCHRÄNKTER MARKT UND GERINGE INVESTITIONEN

Zwar ist die instrumentelle HPLC und Massenspektrometrie aus heutigen Laboren nicht mehr weg zu denken, dennoch handelt es sich im Vergleich zu technischen „Konsumgütern“ des täglichen Gebrauchs, wie z. B. Autos, Smart-Phones und Computern weltwirtschaftlich gesehen nur um einen hochspezialisierten Nischenmarkt. Aufgrund dieser Tatsache wird vergleichsweise wenig Kapital in neue Produkt-Innovationen durch die Gerätehersteller investiert und eher auf eine inkrementelle Weiterentwicklung bestehender Produktserien gesetzt. Investoren und Unternehmen sehen oft wenig Anreiz, in disruptive Technologien zu investieren, die zunächst nur eine begrenzte Zahl potenzieller NutzerInnen hat.

Hieraus ergibt sich ein "Teufelskreis": durch den geringen Innovationsdruck stockt die Weiterentwicklung bestehender technologischer Konzepte, der Einstieg für AnwenderInnen wird erschwert, wodurch der Markt für die generelle Miniaturisierung klein bleibt. Durch die geringe Marktdurchdringung wird wiederum wenig investiert. Ein Weg aus dieser Problematik könnte darin bestehen, die öffentliche Projektförderung noch stärker auf Aspekte der Nachhaltigkeit auszurichten. Einige Projektträger verlangen bereits bei Antragstellung konkrete Informationen, ob und wie weit ein Forschungsantrag die Ziele der Nachhaltigkeit unterstützt. Durch diese Maßnahmen kann ein Innovationszyklus in Gang gesetzt werden, der nachhaltige Technologien stärker berücksichtigt und fördert.

HOHE ANSCHAFFUNGSKOSTEN

Miniaturisierte Systeme im HPLC-Bereich sind auch heute bereits im Einsatz, vor allem dann, wenn die Probenmenge ein limitierender Faktor ist. Beispiele hierfür sind die analytische Forensik oder die klinische Diagnostik. Trotz der Vorteile von miniaturisierten Systemen sind diese in ihrem Anfangsinvestment auf demselben Preisniveau konventioneller Geräte. Auch wenn solche Systeme langfristig Einsparungen bringen, sind die hohen initialen Investitionskosten für viele Universitäten eine Hürde. Dies gilt insbesondere dann, wenn die Vorgaben der öffentlichen Ausschreibung definieren, dass nur das wirtschaftlich günstigste Angebot berücksichtigt werden darf. Zwar können im Rahmen einer Ausschreibung konkrete technische Spezifikationen definiert werden, allerdings müssen hier die oftmals limitierenden Budgets für Investitionsmaßnahmen beachtet werden. Ziel der Arbeiten war es deshalb auch, verlässliche Informationen und überzeugende Modelle zu generieren, die zeigen, dass die Miniaturisierung auf lange Sicht durch langfristige Kosteneinsparungen, wie etwa durch geringeren Materialverbrauch und effizienteren Betrieb, wirtschaftlich sinnvoll ist. Finanzielle Anreize, wie z. B.¹⁴ das bereits 2007 an der FU Berlin eingeführte Prämiensystem zur Energieeinsparung, und spezifische Maßnahmen in den einzelnen Förderprogrammen könnten ebenfalls helfen, die initialen Investitionskosten zu senken und die Akzeptanz im akademischen Bereich zu erhöhen.

SCHRITTE ZUR FÖRDERUNG DER MINIATURISIERUNG IN UNIVERSITÄTEN

Um die Verbreitung der Miniaturisierung an Universitäten voranzutreiben, sollten gezielte Maßnahmen eingeleitet werden. Diese Maßnahmen sollen nicht nur die wirtschaftlichen und wissenschaftlichen Vorteile verdeutlichen, sondern auch die bestehenden Hindernisse abbauen.

VERBESSERUNG DER DATENLAGE ZU KOSTENVORTEILEN

¹⁴ https://www.fu-berlin.de/sites/nachhaltigkeit/handlungsfelder/campus/energie_klimaschutz/praemiensystem/index.html

Eine der größten Hürden ist der Mangel an konkreten Daten, die die tatsächlichen Kostenvorteile von miniaturisierten Systemen belegen. Viele Labore sind sich unsicher, ob sich eine Investition in diese Technologie lohnt. Eine umfassende Analyse und Erfassung von z. B. Strom- und Gasverbräuchen könnten hier helfen. Vor diesem Hintergrund wurde eine Methodik aus dem Bereich des Smart-Home etabliert, die ohne große technische und finanzielle Hürden in Universitäten eingesetzt werden kann. Die Aufgabe im Rahmen des Projekts war es, den Energieverbrauch, Lösemittelverbrauch, sowie die grundlegenden weiteren Kosten wie beispielsweise Platzbedarf bei Einsatz von konventionellen und miniaturisierten Systemen zu dokumentieren und deren Kosteneffizienz zu bewerten.

Diese Daten könnten dann als Entscheidungsgrundlage dienen, um auch an anderen Universitäten den Mehrwert der Miniaturisierung aufzuzeigen. Wissenschaftliche Institutionen, die bereits erste Erfolge erzielt haben, könnten dabei als Vorbilder und Berater fungieren. So könnte in einem Schneeballeffekt eine Effizienzsteigerung in deutschen Universitätslaboren stattfinden, die maßgeblich dazu beitragen kann, negative Umwelteinflüsse durch den Laborbetrieb deutlich zu reduzieren.

FÖRDERUNG DER AMORTISATION VON ANSCHAFFUNGSKOSTEN

Die initialen Investitionskosten könnten durch gezielte staatliche Förderungen abgemildert werden. Zum Beispiel könnte die Anschaffung von miniaturisierten Laborgeräten durch Zuschüsse oder zinsgünstige Kredite unterstützt werden. Darüber hinaus sollten Modelle entwickelt werden, die die Amortisation der Kosten aufzeigen. Ein solches Modell könnte berechnen, wie der reduzierte Verbrauch von Rohstoffen und ein geringerer Energiebedarf zu Einsparungen führt. Langfristige Betrachtungen, die durch eine Förderung solcher Untersuchungen in weiteren Laboren erhoben werden, würden solche Modelle verlässlicher machen. Solche Informationen würden Universitäten bei der Budgetplanung helfen und die Entscheidung für eine gezielte Anschaffung miniaturisierter Systeme erleichtern.

FÖRDERUNG DER INNOVATION DURCH DAS AKADEMISCHE UMFELD

Das akademische Umfeld spielt eine entscheidende Rolle, wenn es um die Entwicklung neuer Technologien geht. Die Verbreitung der Miniaturisierung in den Universitäten kann zu einem regelrechten Innovationsschub führen und sollte deshalb gefördert werden. Junge WissenschaftlerInnen und Studierende, die frühzeitig mit diesen Technologien arbeiten, werden motiviert, neue Einsatzmöglichkeiten zu entwickeln und Verbesserungen vorzuschlagen. Die Miniaturisierung könnte also nicht nur die Forschung selbst effizienter machen, sondern auch eine Kultur der Innovation und Kreativität in Deutschland fördern. Damit könnte die Universitätsforschung eine Art Katalysator für die Entwicklung marktfähiger Produkte werden, die langfristig auch der Industrie zugutekommen.

SCHLUSSFOLGERUNG

Die Miniaturisierung bietet eine große Chance für die universitäre Forschung und die Entwicklung neuer Technologien. Um diese Chance jedoch nutzen zu können, müssen einige Hindernisse überwunden werden. Staatliche Förderungen, umfassendere Datensammlungen zu den wirtschaftlichen Vorteilen und der Abbau komplexer bürokratischer Strukturen sind entscheidende Schritte, um die Miniaturisierung in den Laboren unserer Universitäten voranzutreiben. Durch die Förderung dieser Technologie können Universitäten effizienter, kostengünstiger und umweltfreundlicher arbeiten. Gleichzeitig wird die nächste Generation von WissenschaftlerInnen motiviert, kreativ und innovativ zu sein. Dieser Sachverhalt kommt letztlich nicht nur der Forschung, sondern auch der Gesellschaft insgesamt zugute.

EIN BLICK IN DIE ZUKUNFT: HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN

Der **Status Quo in deutschen Hochschulen** zeigt eine sehr heterogene Landschaft. Nachhaltigkeits-Initiativen waren bisher eher unbekannt, obwohl es bereits ein Nachhaltigkeitsbewusstsein gab, haben aber in den letzten Jahren deutlich Zulauf bekommen und Interesse geweckt. Der Föderalismus in der Bildungspolitik führt zu einer großen Bandbreite an individuellen Situationen, von einem „Unsere Hochschulleitung bekommt die Strom- und Wasser-Rechnungen nie zu Gesicht, die Kosten übernehmen die Landesbehörden“ bis zu einem „Alle Rechnungen werden von der Hochschulverwaltung bezahlt und werden auch nicht bezuschusst“. Es ist offensichtlich, dass je nach Situation entsprechend auch ein unterschiedliches Eigeninteresse an der Umsetzung von Nachhaltigkeitsprinzipien in den Hochschulverwaltungen vorliegt. In Bezug auf Ressourcenverbräuche liegen generell gesprochen die größten Potenziale auf der Ebene der Labormitarbeitenden, die am besten wissen, mit welchen Mitteln und Methoden die Ausbildung und Forschung im Labor betrieben werden sollte. Leider fehlt diesen Personen häufig die Zeit, sich mit Umweltaspekten von Chemikalien und Verbrauchsgütern auseinanderzusetzen, wodurch Versuchsvorschriften nicht angepasst werden, obwohl hier z. B. in der nötigen Ansatzgröße, dem Vermeiden von umweltschädlichen Chemikalien, einer Zonen-Einordnung für Sicherheits-Anforderungen oder auch der Beschaffung bzw. Vorbereitung von Verbrauchsgütern eine Veränderung möglich ist. Vor allem in Praktika wirken solche Veränderungen als Multiplikator, da solche Versuche vielfach pro Semester durchgeführt werden und das Bewusstsein der Studierenden an diesen Stellen auch gleich geschärft werden kann. Unsere Empfehlung hier wäre, dass Labormitarbeitenden die Zeit zur Verfügung gestellt wird, sich mit den Aspekten der Nachhaltigkeit vertraut zu machen und unter diesen Aspekten nachhaltigere Versuchsbeschreibungen zu entwickeln, die Studierende in die Nachhaltigkeit mit einbeziehen, beispielsweise durch eine Selbsteinschätzung der Nachhaltigkeit im Versuchsprotokoll.

In Bezug auf Beschaffung und Abfallmanagement gilt es natürlich, unnötiges zu vermeiden. Bei nicht sinnvoll vermeidbaren Verbräuchen sind häufig noch Regulatorien im Spiel, die Handlungsspielräume begrenzen: In der Beschaffung sind es z. B. Rahmenverträge, über die Limitierungen im Einkauf eine nachhaltige Umstellung begrenzen. Im Abfallmanagement sind es häufiger Sicherheitsaspekte, z. B. wenn Plastikverpackungen verbrannt werden müssen, weil die Verpackung erst im Labor geöffnet wurde und darum kontaminiert sein könnte. Da es keine Standard-Verträge zwischen Hochschulen und Müllentsorgungsbetrieben gibt, ist das Verfahren zur Übergabe des Abfalls von Hochschule zu Hochschule verschieden.

Prozesse in Laboren hängen häufig von der Aufmerksamkeit und der sich Bewusstmachung von Sachverhalten ab. Im Umgang mit Laborgeräten geht es hier vor allem um die sinnvolle Nutzung der Geräte, die nicht nur modellabhängig, sondern auch gebrauchtsabhängig einen unterschiedlichen Ressourcenbedarf haben. Ein der Sonnenstrahlung ausgesetzter, häufig geöffneter und möglicherweise fast leerer Freezer wird einen deutlich höheren Strombedarf haben als ein im Dunkeln stehender, gut gefüllter, der nur selten geöffnet wird (unabhängig von Modell oder Alter des Gerätes). Auch wechseln viele Geräte in einen Stand-by Betrieb oder sind inaktiv, haben aber dennoch einen geringen Stromverbrauch. In Workshops und in Laborbegehungen lässt sich ein nicht-nachhaltiges Verhalten am besten entdecken. Als Empfehlung bietet es sich an, neben einer obligatorischen Sicherheitsunterweisung auch eine Nachhaltigkeitsunterweisung für Mitarbeitende zu organisieren.

Dies ist vor allem in Kombination mit **Laborzertifizierungen** sinnvoll, die einem selbst ein Feedback darüber geben können, wie das eigene Labor objektiv steht unter Gesichtspunkten der Nachhaltigkeit. LEAF und My Green Lab (MGL) gewinnen immer mehr an Bedeutung, um universitäre Labore umweltfreundlicher zu gestalten. Beide Programme fördern eine strukturierte Herangehensweise zur Implementierung umweltfreundlicher Maßnahmen in Laboratorien, weisen jedoch Unterschiede in ihrem Ansatz und ihrer Flexibilität auf. LEAF arbeitet mit festen Kriterien für jede Zertifizierungsstufe, was eine gleichmäßige Fortschrittskontrolle gewährleistet und den Austausch zwischen Laboren innerhalb einer Institution fördert. MGL hingegen erlaubt eine flexible Priorisierung und individuelle Umsetzung der Maßnahmen. So kann es speziellere Themen wie die organismische Biologie integrieren, die in LEAF nicht

berücksichtigt sind, birgt jedoch das Risiko, dass weniger wirkungsvolle Maßnahmen priorisiert werden. Da es nicht die eine, perfekte, Zertifizierung gibt, die für alle Labore gleich gut funktioniert, ist eine unabhängige Unterstützung bei der Auswahl der passenden Zertifizierung empfehlenswert. Spezialfälle lassen sich meist schlecht in generalisierten Checks abbilden, weshalb eine Empfehlung an Zertifizierende geht, dass diese ihre Konzepte je nach Laboreigenart adaptierbar machen sollten, um unnötig lange Fragenkataloge zu vermeiden.

Die **Miniaturisierung** und die gezielte Förderung nachhaltiger Praktiken in Forschungslaboren bieten weitreichende Chancen für die universitäre Forschung und technologische Innovation. Um die Miniaturisierung voranzutreiben und ihre Vorteile voll auszuschöpfen, ist es entscheidend, staatliche Förderungen zu stärken, umfassendere Datensammlungen über die wirtschaftlichen und ökologischen Vorteile anzulegen und bürokratische Hindernisse abzubauen. Durch diese gezielte Förderung könnten Universitäten effizienter, kostengünstiger und umweltfreundlicher arbeiten. Diese Entwicklungen tragen langfristig nicht nur zur wissenschaftlichen Exzellenz, sondern auch zum Wohl unserer Gesellschaft insgesamt bei.

Mit dem Blick in die Zukunft lassen sich basierend aus den Erfahrungen des NachLabs Projektes mehrere Handlungsempfehlungen ziehen.

- Bereits vorhandene Strukturen nutzen, wie z. B. die Sicherheitsbelehrungen am Anfang des Semesters innerhalb der Hochschulen.
- Politischen Rahmen schaffen, durch beispielsweise landesweite Verordnungen zur nachhaltigen Beschaffung.
- Fördermittelvergabe stärker an nachhaltige Kriterien knüpfen, um somit einen monetären Anreiz zu schaffen.
- AkteurInnen-Mapping: innerhalb der eigenen Institution identifizieren, welche Personen die Verantwortlichkeiten tragen, und wo die Hebel für Veränderung liegen.
- Bestehende Handlungsempfehlungen stärker in den Laborbetrieb integrieren.
- Mittels einfach zu implementierender Maßnahmen nachhaltige Handlungsimpulse setzen.

Die Kombination der Erkenntnisse aus allen drei Projektmodulen hat hierbei das größte Potenzial: Wenn durch Miniaturisierung eine Laborfläche verringert werden kann und der Laborraum hierdurch einen Vorraum bzw. eine zusätzliche Büro- bzw. Aufenthaltsfläche bekommt, reduziert sich das Volumen für den vorgeschriebenen Luftaustausch, beschaffte Güter können im Vorraum ausgepackt und gelagert werden, wodurch weniger kontaminierter Müll entsteht. Ein Büro-Arbeitsplatz außerhalb des Labors erlaubt eine Verlagerung des Arbeitsumfelds und hierdurch das frühzeitige Herunterfahren der Laborventilation. Die klarere Teilung in Büroraum und Labor hat auch Vorteile bei einer Zertifizierung.

Abschließend sei angemerkt, dass eine nachhaltige Gestaltung des Laborarbeitsplatzes ein länger dauernder Prozess ist, der von vielen unterschiedlichen inneren wie äußeren Kräften beeinflusst wird. Vor allem die regulatorische Ebene zur Laborsicherheit, der Gefährdungsbeurteilungen, Arbeitsprozesse und Verantwortlichkeiten ist komplex und steht seit einiger Zeit im Zentrum vieler Diskussionen. Hier sei nur nochmal der 8-fache Luftaustausch oder die Probenkühlung bei -80°C genannt, die allgemein als Standards gelten, auch wenn mehrere Best-Practice Beispiele bereits die Sicherheit und Anwendbarkeit von nachhaltigeren Alternativen aufgezeigt haben.

Es wird auch zukünftig notwendig sein, die Nachhaltigkeitspotenziale in Laboren zu untersuchen, um neue Ideen und Innovationen einzuordnen oder die Folgen von Regulatorik-Veränderungen einzuordnen. Mit der aktualisierten Ökodesign-Verordnung wird nachhaltigere Labortechnik auf den Markt kommen und Trends in der Labororganisation und -Administration werden das Arbeiten in Laboren grundlegend verändern, wodurch Regulatorik wieder adaptiert werden könnte (z. B. kommt der 8-fache Luftaustausch im Labor aus einer Zeit, als quasi keine Abzüge genutzt wurden). Diese Handlungsempfehlungen, so wie auch hoffentlich viele weitere noch kommende, weisen der lesenden Person den Weg durch einen undurchsichtigen und komplexen Transformationsprozess.

Mit freundlichen Grüßen,

Ihr NachLabs Team

QUELLENVERZEICHNIS

Aldred Cheek, K., & Wells, N. M. (2020). Changing behavior through design: A lab fume hood closure experiment. *Frontiers in Built Environment*, 5, 146.

Aggoune, A. & Benratem, Z. (2023). ECG Data Visualization: Combining the power of Grafana and InfluxDB. *Electronics, Control And Communication Systems (ICAECES), BLIDA*. Algeria, 2023, pp. 1-6, <https://doi.org/10.1109/icaeccs56710.2023.10104857>

ALLEA. (2022). Towards Climate Sustainability of the Academic System in Europe and Beyond. Berlin. DOI 10.26356/climate-sust-acad

Alves, J., Sargison, F. A., Stawarz, H., Fox, W. B., Huete, S. G., Hassan, A., McTeir, B. & Pickering, A. C. (2020). A case report: insights into reducing plastic waste in a microbiology laboratory. *Access Microbiology*, 3(3). <https://doi.org/10.1099/acmi.0.000173>

Bimonte, S., Bosco, L., & Stabile, A. (2020). Nudging pro-environmental behavior: evidence from a web experiment on priming and WTP. *Journal of Environmental Planning and Management*, 63(4), 651-668.

Bousema, T., Hunter, A., Ramirez-Aguilar, K., Farley, M., Dobbelaere, J., & Greever, C. (2020). Minus 70 is the new minus 80. Radboud UMC. Retrieved from https://www.radboudumc.nl/getmedia/a63283f5-71ae-4068-991c-782830eee36c/Minus-70-is-the-new-minus-80_3.aspx?ext=.pdf.

C&EN: Chemical & Engineering News (June 14, 2024) Laurel Oldach: What happens to old scientific instruments? Inside the secondary market for specialized laboratory equipment. Online at: <https://cen.acs.org/business/instrumentation/happens-old-scientific-instruments/102/i18>

Dobbelaere, J., Heidelberger, J. B., & Borgermann, N. (2022). Achieving sustainable transformation in science—green grassroots groups need nurturing from the top. *Journal of Cell Science*, 135(17), jcs259645.

Doyle, A., & Gumapas, L. A. M. (n.d.). Everything You Wanted to Know about Running an Ultra-Low Temperature (ULT) Freezer Efficiently but Were Afraid to Ask. Retrieved February 23, 2022, from <https://www.freezerchallenge.org/freezer-maintenance-info.html>

Dunn, P. J. (2012). The importance of green chemistry in process research and development. *Chemical Society Reviews*, 41(4), 1452-1461

EMBO Communications. (2024). Environmentally Sustainable Research - Funders on the Case. Retrieved June 2, 2024, from <https://www.embo.org/features/environmentally-sustainable-research-funders-on-the-case/>

European Commission (2023). Enabling sustainable choices and ending greenwashing. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_23_1692.

Farley, M., McTeir, B., Arnott, A., & Evans, A. (2015). Efficient ULT freezer storage. University of Edinburgh. Retrieved from https://www.ed.ac.uk/sites/default/files/atoms/files/efficient_ult_freezer_storage.pdf

Farley, M. (2022). Sustainable research practices. *Nature Reviews Molecular Cell Biology*, 23(7), 517. <https://doi.org/10.1038/s41580-022-00360-9>

Farley, M., & Nicolet, B. P. (2023). Re-use of laboratory utensils reduces CO2 equivalent footprint and running costs. *Plos one*, 18(4), e0283697. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0283697>.

Franssen, T., Giannini, L., & Johnson, H. (2022). LEAF in the Netherlands: Adopting Sustainability in our Laboratories. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7457118>

Freese, T., Elzinga, N., Heinemann, M., Lerch, M. M., & Feringa, B. L. (2024). Sustainable laboratory practices in chemical research. *RSC Sustainability*, 2(5), 1300–1336. <https://doi.org/10.1039/D3SU00248C>

Gilly Q. (2023) Validating costs and energy savings from Harvard's Shut the Sash program. Tackling energy use in labs. Harvard University Fume Hood Strategy Whitepaper. Accessable online at: <https://sustainable.harvard.edu/wp-content/uploads/2023/09/FumeHoodWhitePaper-1.pdf>

Glover, R. T., Booth, G. S., & Wiencek, J. R. (2023). Opportunities for recycling in an automated clinical chemistry laboratory produced by the comprehensive metabolic panel. *American journal of clinical pathology*, 160(2), 119–123. <https://doi.org/10.1093/ajcp/aqad031>

Goh, H, Wong, W & Ong, Y. (2019). A Study to Reduce Chemical Waste Generated in Chemistry Teaching Laboratories. *Journal of Chemical Education*. 97. 10.1021/acs.jchemed.9b00632.

Gupta, M., & **Singh**, S. (2021). A Survey on the ZigBee Protocol, It's Security in Internet of Things (IoT) and Comparison of ZigBee with Bluetooth and Wi-Fi. In: Gao, XZ., Kumar, R., Srivastava, S., Soni, B.P. (eds) *Applications of Artificial Intelligence in Engineering. Algorithms for Intelligent Systems*. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-33-4604-8_38

Hafer, M. (2017). Efficiency strategies for laboratory research. *Energy Efficiency*, 10(5), 1013–1039.

Hemida, M., Ghiasvand, A., Macka, M., Gupta, V., Haddad, P. R. & Paull, B. (2023). Recent advances in miniaturization of portable liquid chromatography with emphasis on detection. *Journal Of Separation Science*, 46(15). <https://doi.org/10.1002/jssc.202300283>

IPCC (2023). Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 1-34, doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001

Klein, R. C., King, C., & Kosior, A. (2009). Environmental and health considerations in chemical safety. *Journal of Chemical Health & Safety*, 16(3), 36–42.

Lara, E. R., De La Rosa, J. R., Castillo, A. I. R., De Jesús Cerino-Córdova, F., Chuken, U. J. L., Delgadillo, S. S. F. & Rivas-García, P. (2016). A comprehensive hazardous waste management program in a Chemistry School at a Mexican university. *Journal Of Cleaner Production*, 142, 1486–1491. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.11.158>

Leal Filho, W., Skouloudis, A., Brandli, L. L., Salvia, A. L., Avila, L. V., & Rayman-Bacchus, L. (2019). Sustainability and procurement practices in higher education institutions: Barriers and drivers. *Journal of cleaner production*, 231, 1267-1280.

Liigand, P., Liigand, J., Kaupmees, K. & Kruve, A. (2020). 30 Years of research on ESI/MS response: Trends, contradictions and applications. *Analytica Chimica Acta*, 1152, 238117. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2020.11.049>

Montoya, F. G., Peña-García, A., Juaidi, A., & Manzano-Agugliaro, F. (2017). Energy efficiency in buildings. *Energy and Buildings*, 140, 50–60.

Mejía-Carmona, K., Da Silva Burato, J. S., Borsatto, J. V. B., De Toffoli, A. L. & Lanças, F. M. (2019). Miniaturization of liquid chromatography coupled to mass spectrometry. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 122, 115735. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2019.11573>

O'Neil, N. J., Scott, S., Relph, R., & Ponnusamy, E. (2020). Approaches to incorporating green chemistry and safety into laboratory culture. *Journal of chemical education*, 98(1), 84-91.

Paepe, M. D., Jeanneau, L., Mariette, J., Aumont, O., & Estevez-Torres, A. (2023). *BioRxiv*. Preprint. <https://doi.org/10.1101/2023.04.04.535626>

Schell, B. R. & **Bruns**, N. (2024a). Dataset & analysis. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.12722163>

Schell, B. R. & **Bruns**, N. (2024b). Lab Sustainability Programs LEAF and My Green Lab: impact, user experience & suitability. *RSC Sustainability*. <https://doi.org/10.1039/d4su00387j>

Schunk, D. H., & **DiBenedetto**, M. K. (2020). Motivation and social cognitive theory. *Contemporary educational psychology*, 60, 101832.

Thoben, C., Werres, T., Henning, I., Simon, P. R., Zimmermann, S., Schmidt, T. C. & Teutenberg, T. (2022). Towards a miniaturized on-site nano-high performance liquid chromatography electrospray ionization ion mobility spectrometer with online enrichment. *Green Analytical Chemistry*, 1, 100011. <https://doi.org/10.1016/j.greeac.2022.100011>

TU Dresden (2020). „Umweltbericht 2020 der TU Dresden“.

United Nations (2021). GHS_Rev9E_0. Globally harmonized system of classification and labelling of chemicals (GHS Rev. 9, 2021. Copyright © United Nations, 2021; 2018. Available from: <https://unece.org/transport/standards/transport/dangerous-goods/ghs-rev9-2021>.

Urbina, M. A., Watts, A. J., & Reardon, E. E. (2015). Labs should cut plastic waste too. *Nature*, 528(7583), 479-479.

Weber, P. M., Michelsen, C., & Kerou, M. (2025). What's in our bin? Labs kick off and demand the transition towards a circular economy for lab plastics. *EMBO reports*, 26(2), 297–302. <https://doi.org/10.1038/s44319-024-00360-x>

Wellcome Trust. (2024). Environmental sustainability policy - Funding Guidance. Retrieved May 7, 2024, from <https://wellcome.org/grant-funding/guidance/environmental-sustainability-policy>

Werres, T., Schmidt, T. C. & Teutenberg, T. (2023). Influence of the Column Inner Diameter on Chromatographic Efficiency in Miniaturized and Conventional Ultra-High-Performance Liquid Chromatography. *Chromatographia*, 86(2), 143–151. <https://doi.org/10.1007/s10337-023-04237-4>

Werres, T., Schmidt, T. C. & Teutenberg, T. (2022). Peak broadening caused by using different micro-liquid chromatography detectors. *Analytical And Bioanalytical Chemistry*, 414(20), 6107–6114. <https://doi.org/10.1007/s00216-022-04170-9>

Werres, T., Schmidt, T. C. & Teutenberg, T. (2021). The influence of injection volume on efficiency of microbore liquid chromatography columns for gradient and isocratic elution. *Journal Of Chromatography A*, 1641, 461965. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2021.461965>