

Jörg Castor

Entwicklung einer Methode zur Analyse der Tätigkeitsverteilung in Laborumgebungen der Lebenswissenschaften



SCHRIFTENREIHE ZU ARBEITSWISSENSCHAFT UND TECHNOLOGIEMANAGEMENT

Herausgeber

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. Dr. h. c. Dieter Spath

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Prof. e. h. mult. Dr. h. c. mult. Hans-Jörg Bullinger

Institut für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement IAT
der Universität Stuttgart, Stuttgart

Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO, Stuttgart

Band 60

Jörg Castor

Entwicklung einer Methode zur Analyse der Tätigkeitsverteilung
in Laborumgebungen der Lebenswissenschaften

Impressum

Kontaktadresse:

*Institut für Arbeitswissenschaft
und Technologiemanagement IAT
der Universität Stuttgart und
Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft
und Organisation IAO
Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart
Telefon +49 711 970-01, Fax -2299
www.iat.uni-stuttgart.de
www.iao.fraunhofer.de*

*Schriftenreihe zu Arbeitswissenschaft
und Technologiemanagement*

Herausgeber:

*Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. Dr. h. c. Dieter Spath
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Prof. e. h. mult.
Dr. h. c. mult. Hans-Jörg Bullinger*

*Institut für Arbeitswissenschaft
und Technologiemanagement IAT
der Universität Stuttgart und
Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft
und Organisation IAO*

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

*Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet
diese Publikation in der Deutschen National-
bibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind
im Internet über www.dnb.de abrufbar.*

ISSN 2195-3414

ISBN 978-3-8396-1790-8

D 93

Zugl.: Stuttgart, Univ., Diss., 2021

Druck und Weiterverarbeitung:

Fraunhofer Verlag, Mediendienstleistungen

*Für den Druck des Buchs wurde chlor-
und säurefreies Papier verwendet.*

*© Fraunhofer Verlag, 2022
Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart
verlag@fraunhofer.de
www.verlag.fraunhofer.de*

als rechtlich nicht selbständige Einheit der

*Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der
angewandten Forschung e.V.*

*Hansastraße 27 c
80686 München
www.fraunhofer.de*

Alle Rechte vorbehalten

*Dieses Werk ist einschließlich aller seiner Teile ur-
heberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die über
die engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes hi-
nausgeht, ist ohne schriftliche Zustimmung des Ver-
lages unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere
für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfil-
mungen sowie die Speicherung in elektronischen
Systemen. Die Wiedergabe von Warenbezeichnun-
gen und Handelsnamen in diesem Buch berechtigt
nicht zu der Annahme, dass solche Bezeichnungen
im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-
Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und des-
halb von jedermann benutzt werden dürften. Soweit
in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze,
Vorschriften oder Richtlinien (z. B. DIN, VDI) Bezug
genommen oder aus ihnen zitiert worden ist, kann
der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständig-
keit oder Aktualität übernehmen.*

Geleitwort

Grundlage der Arbeiten am Institut für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement IAT der Universität Stuttgart und am kooperierenden Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO ist die Überzeugung, dass unternehmerischer Erfolg in Zeiten globalen Wettbewerbs vor allem bedeutet, neue technologische Potenziale nutzbringend einzusetzen. Deren erfolgreicher Einsatz wird vor allem durch die Fähigkeit bestimmt, kunden- und mitarbeiterorientiert Technologien schneller als die Mitbewerber zu entwickeln und anzuwenden. Dabei müssen gleichzeitig innovative und anthropozentrische Konzepte der Arbeitsorganisation zum Einsatz kommen. Die systematische Gestaltung wird also erst durch die Bündelung von Management- und Technologiekompetenz ermöglicht. Dabei wird durch eine ganzheitliche Betrachtung der Forschungs- und Entwicklungsthemen gewährleistet, dass wirtschaftlicher Erfolg, Interessen der Mitarbeitenden und gesellschaftliche Auswirkungen immer gleichwertig berücksichtigt werden.

Die im Rahmen der Forschungsarbeiten an den Instituten entstandenen Dissertationen werden in der »Schriftenreihe zu Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement« veröffentlicht. Die Schriftenreihe ersetzt die Reihe »IPA-IAO Forschung und Praxis«, herausgegeben von H. J. Warnecke, H.-J. Bullinger, E. Westkämper und D. Spath. In dieser Reihe sind in den vergangenen Jahren über 500 Dissertationen erschienen. Die Herausgeber wünschen den Autor*innen, dass ihre Dissertationen aus den Bereichen Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement in der breiten Fachwelt als wichtige und maßgebliche Beiträge wahrgenommen werden und so den Wissensstand auf ein neues Niveau heben.



Dieter Spath



Hans-Jörg Bullinger

Danksagung

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO in Stuttgart.

Mein sehr herzlicher Dank gilt Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. Dr. h. c. Dieter Spath i. R., ehemaliger Leiter des Instituts für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement IAT der Universität Stuttgart sowie des Fraunhofer-Instituts für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO, für die Annahme und wohlwollende Förderung meiner Arbeit. Ebenso danke ich ihm für das Eröffnen des spannenden Forschungsfeldes »Arbeitsgestaltung für die Lebenswissenschaften«.

Herrn Prof. Dr.-Ing. Martin Schmauder am Institut für Technische Logistik und Arbeitssysteme (TLA) sowie Direktor des Zentrums für Produktionstechnik und Organisation (CIMTT) an der Technischen Universität Dresden danke ich sehr für die Übernahme des Mitberichts.

Herrn Prof. Dr.-Ing. Prof. e. h. Wilhelm Bauer möchte ich für die thematische Förderung Dank sagen.

Dr. rer. nat. Holger Richly und Dr. rer. nat. Erik Richly danke ich für den wertvollen Austausch zum Thema Lebenswissenschaften.

Dank geht ebenso an meine Kolleginnen und Kollegen am Fraunhofer IAO, die auf unterschiedlichste Weise zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben. Dr.-Ing. Stephan Wilhelm danke ich dabei besonders für die stete Ermunterung zur Fertigstellung der Promotion. Außerordentlicher Dank gebührt M.Sc. Phys. Beate Risch und Dr.-Ing. Stefan Rief für die inspirierenden Gespräche, fachlichen Diskussionen sowie das intensive Gegenlesen der Arbeit.

Und natürlich bedanke ich mich von Herzen bei meinen Eltern, die mir die Voraussetzungen für diesen beruflichen Werdegang ermöglichten und mich bei der Promotion auf vielfältige Weise unterstützten.

Stuttgart, im November 2021
Jörg Castor

Entwicklung einer Methode zur Analyse der Tätigkeitsverteilung in Laborumgebungen der Lebenswissenschaften

Von der Fakultät Konstruktions-, Produktions- und Fahrzeugtechnik
der Universität Stuttgart
zur Erlangung der Würde eines Doktors der
Ingenieurwissenschaften (Dr.-Ing.) genehmigte Abhandlung

Vorgelegt von

Dipl.-Ing. Jörg Castor

aus Kempen jetzt Krefeld

Hauptberichter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Dr. h.c. Dieter Spath

Mitberichter: Prof. Dr.-Ing. Martin Schmauder

Tag der mündlichen Prüfung: 26. Februar 2021

Institut für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement (IAT) der Universität Stuttgart

2021

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	IV
Tabellenverzeichnis.....	VI
Abkürzungsverzeichnis	VII
1 Einleitung.....	1
1.1 Motivation und Problemstellung	1
1.2 Zielsetzung und Aufbau der Arbeit.....	6
1.2.1 Zielsetzung der Arbeit	6
1.2.2 Beschreibung des Aufbaus der Arbeit.....	9
2 Stand von Forschung und Praxis.....	13
2.1 Definition von Forschung und experimenteller Entwicklung.....	13
2.2 Definition des Begriffs »Lebenswissenschaften«	14
2.3 Die Bedeutung von Laborumgebungen für die Lebenswissenschaften.....	17
2.4 Definition des räumlichen Betrachtungsgegenstandes.....	19
2.4.1 Notwendige Maße im Labor	21
2.4.2 Einrichtung eines lebenswissenschaftlichen Labors.....	23
2.4.3 Dimensionierung von Laborflächen im Forschungsgebäude	24
2.4.4 Grundtypologien von Laboren in den Lebenswissenschaften	25
2.4.5 Grundrissorganisation von Forschungsgebäuden für Laborumgebungen der Lebenswissenschaften.....	28
2.4.6 Veränderte Anforderungen an die räumliche Nutzung und Anordnung ..	30
2.5 Tätigkeiten und Arbeitsweisen in Laborumgebungen der Lebenswissenschaften.....	37
2.5.1 Beschreibung der laborbezogenen Tätigkeiten und Arbeitsweisen	37
2.5.2 Kommunikation als ubiquitäre und vernetzende Tätigkeit in Arbeitsumgebungen der FuE	39

2.5.3	Nutzungsbereiche der Lebenswissenschaften in Forschungsgebäuden.....	42
2.5.4	Der Experimentalprozess und seine Verortung.....	44
2.5.5	Tätigkeiten im Labor am Beispiel molekularbiologischer Methoden.....	46
2.6	Untersuchungen zur Tätigkeitsverteilung in Laborumgebungen	50
2.6.1	Zeitliche Tätigkeitsverteilung.....	51
2.6.2	Räumliche Tätigkeitsverteilung	54
2.6.3	Veränderung der Teamarbeit von Forschungsgruppen der Lebenswissenschaften	57
2.7	Anforderungen an die Ausstattung von Laborumgebungen	59
2.8	Entwicklungen in der Laborarbeit und räumliche Auswirkungen.....	61
2.8.1	Technik.....	63
2.8.2	Arbeitsorganisation	68
2.8.3	Räumliche Auswirkungen der Entwicklungen in der Laborarbeit	68
2.9	Forschungsdefizite.....	70
3	Entwicklung einer Methode zur Analyse der Tätigkeitsverteilung in Laborumgebungen der Lebenswissenschaften	74
3.1	Anforderungen an die Methode	74
3.1.1	Anwendungszweck und Anwendungsumfeld.....	74
3.1.2	Integration von Kommunikationsmerkmalen in die Methode.....	75
3.2	Eigene Einteilung arbeitswissenschaftlicher Untersuchungsmethoden	77
3.3	Beschreibung der arbeitswissenschaftlichen Untersuchungsmethoden Befragung, Selbstaufschrieb und Beobachtung	80
3.3.1	Befragung	81
3.3.2	Selbstaufschrieb.....	81
3.3.3	Beobachtung.....	82
3.3.4	Multimoment-Methode	83
3.4	Auswahlkriterien zur Bewertung der Untersuchungsmethoden.....	85
3.5	Bewertung der Untersuchungsmethoden mit den Auswahlkriterien	86

4	Die Methode zur Analyse der Tätigkeitsverteilung in Laborumgebungen der Lebenswissenschaften	88
4.1	Komponenten und Funktionsbeschreibung der Methode	88
4.1.1	Die Basiskomponenten der Methode – Tätigkeitsverteilung	89
4.1.2	Die Basiskomponenten – erweitert um Kommunikationsmerkmale	90
4.1.3	Qualitätsparameter Tätigkeitspassung	91
4.1.4	Qualitätsparameter Kommunikation	92
4.2	Ablauf zur Anwendung der Methode	96
5	Anwendung der Methode in zwei Laborumgebungen	98
5.1	Das Anwendungsbeispiel.....	98
5.1.1	Das Forschungsgebäude und die Laborumgebungen.....	98
5.1.2	Die Forschungsgruppe.....	100
5.2	Ergebnisse der Methodenanwendung.....	101
5.2.1	Ergebnisse der Analyse zur Tätigkeitsverteilung	102
5.2.2	Ergebnisse der Untersuchung von Kommunikationsereignissen	105
5.2.3	Zusammenfassung der Erkenntnisse aus der vergleichenden Analyse.....	108
6	Kritische Diskussion	109
6.1	Methode zur Analyse der Tätigkeitsverteilung in Laborumgebungen der Lebenswissenschaften.....	109
6.2	Ausblick.....	112
7	Zusammenfassung	113
8	Abstract	115
9	Literaturverzeichnis	117
10	Anhang	127

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Forschungs- und Entwicklungsintensität ausgewählter Branchen	3
Abbildung 2: Aufbau der Arbeit	9
Abbildung 3: Gestaltungs-, Wirk- und Zielebenen einer Forschungsumgebung	11
Abbildung 4: Schalenmodell zum räumlichen Betrachtungsgegenstand.....	12
Abbildung 5: Fünf Kriterien der OECD zur Bestimmung von FuE Tätigkeit	13
Abbildung 6: Biologische Verwandtschaftsbeziehungen in den Lebenswissenschaften.....	17
Abbildung 7: Wichtige Verordnungen, technische Regeln und ihr Rechtsrahmen.....	21
Abbildung 8: Modulares Deckensystem mit Medien- und Elektroanschlüssen	24
Abbildung 9: Prinzipdarstellung klassischer Grundtypologien von Laboren	26
Abbildung 10: Dreibündiges Forschungsgebäude und biologisches Labor (graue Fläche)	27
Abbildung 11: Grundrissorganisation von Forschungsgebäuden für Laborumgebungen	29
Abbildung 12: Hautforschungszentrum der Beiersdorf AG	30
Abbildung 13: Integration von Schreib-/Auswertepätzen in das Labor (graue Flächen)	32
Abbildung 14: Beispieldarstellung einer Laborlandschaft.....	33
Abbildung 15: Laborlandschaft und -umgebung (MPI für Biologie des Alterns).....	35
Abbildung 16: Laborlandschaft und -umgebung (CSSB)	36
Abbildung 17: Nutzungsbereiche eines lebenswissenschaftlichen Forschungsgebäudes	44
Abbildung 18: Der Experimentalprozess und seine Verortung in der Laborumgebung.....	45
Abbildung 19: Zentrale Methoden der Molekularbiologie	46
Abbildung 20: Dogma der Molekularbiologie	47
Abbildung 21: Polymerase-Kettenreaktion und ihre wichtigsten Anwendungen	49
Abbildung 22: Zeitliche Tätigkeitsverteilung und Tätigkeitsbündel – Studie 2007 u. 2020 ...	52
Abbildung 23: Veränderungen bei theoretischem und kommunikativem Arbeiten.....	53

Abbildung 24: Beispiele für Laborgebäude mit aufgewerteten Schreibplätzen 2001–2006 .	54
Abbildung 25: Orte für theoretisches Arbeiten – Studie 2007 und 2020.....	55
Abbildung 26: Orte für kommunikatives Arbeiten – Studie 2007 und 2020.....	56
Abbildung 27: Veränderungen der Orte für theoretisches und kommunikatives Arbeiten – Studie 2007 und 2020	56
Abbildung 28: Einschätzung zur Veränderung von Teamarbeit – Studie 2007	58
Abbildung 29: Einschätzung zur Veränderung von Teamarbeit – Studie 2020	58
Abbildung 30: Verbesserungspotenziale in der Laborumgebung – Studie 2007	59
Abbildung 31: Verbesserungspotenziale in der Laborumgebung – Studie 2020	59
Abbildung 32: Einteilung und Anzahl der Ergebnisse der Literaturrecherche.....	71
Abbildung 33: Anwendungszweck und Anwendungsumfeld der Methode	75
Abbildung 34: Kommunikationsmerkmale als weitere Komponenten der Methode	76
Abbildung 35: Übersicht zu Untersuchungsmethoden aus der Arbeitswissenschaft.....	79
Abbildung 36: Vorgehensmodell zur Anwendung des Multimomenthäufigkeitszähl- verfahrens nach Hinrichsen.....	84
Abbildung 37: Bewertung der Untersuchungsmethoden.....	87
Abbildung 38: Übersicht zu Komponenten, Informationsfluss und -verknüpfungen der Methode.....	88
Abbildung 39: Die Basiskomponenten der Methode – Tätigkeitsbündel und Arbeitsorte.....	89
Abbildung 40: Die Basiskomponenten – erweitert um Kommunikationsmerkmale	90
Abbildung 41: Beispiel einer webbasierten Eingabemaske für den Selbstaufschrieb von Kommunikationsereignissen	91
Abbildung 42: Modell zu den Qualitätsparametern – Tätigkeitspassung	92
Abbildung 43: Modell zu den Qualitätsparametern – Kommunikation.....	93
Abbildung 44: Vorgehensweise bei Anwendung der Methode zur Analyse der Tätigkeitsverteilung in Laborumgebungen der Lebenswissenschaften.....	97

Abbildung 45: Schematischer Aufbau einer typischen (Labor-)Etage vor Sanierung.....	99
Abbildung 46: Schematischer Aufbau der neuen Laborumgebung (graue Fläche: Lage neues Labor).....	99
Abbildung 47: Axonometrie – neues Labor (Teilbereich).....	100
Abbildung 48: Fallzahlen, Erfassungspunkte und Anzahl der Teilnehmenden	101
Abbildung 49: Zeitliches Ablaufschema mit beiden Erhebungszeiträumen	101
Abbildung 50: Tätigkeitsintensität im Vergleich.....	104
Abbildung 51: Tätigkeitsintensität ohne Kommunikation und Kommunikations-AP	104
Abbildung 52: Verhältnis der Kommunikationsarten	105
Abbildung 53: Kommunikationsbeteiligte	105
Abbildung 54: Tätigkeitsverteilung an den Laborbänken	107
Abbildung 55: Tätigkeitsverteilung an den Schreib-/Auswertepätzen im Labor.....	107

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Verfahren der Biotechnologie	15
Tabelle 2: Themengebiete zu Entwicklungen in der Laborarbeit.....	62
Tabelle 3: Technische Entwicklungen – Themengebiete.....	63
Tabelle 4: Kurzbeschreibung der drei wesentlichen Untersuchungsmethoden.....	80
Tabelle 5: Beispiele für Schwellenwerte zu den Qualitätsparametern Tätigkeitspassung	92
Tabelle 6: Kurzbeschreibung der Qualitätsparameter für Kommunikation.....	95
Tabelle 7: Auslastung der Laborumgebungen – gesamt	102
Tabelle 8: Flächenangebot, Anzahl Arbeitsplätze und Dichte in der Laborumgebung	103
Tabelle 9: Kommunikationsverteilung – Häufigkeit.....	106
Tabelle 10: Tätigkeitsintensität an den Laborbänken und Schreib-/Auswertepätzen	108

Abkürzungsverzeichnis

acatech	Deutsche Akademie der Technikwissenschaften e.V.
AP	Arbeitsplatz, Arbeitsplätze
App	application (Anwendungssoftware)
ArbStättV	Arbeitsstättenverordnung
ASR	Technische Regeln für Arbeitsstätten (auch: Arbeitsstättenregeln)
BetrSichV	Betriebssicherheitsverordnung
BGI	Berufsgenossenschaftliche Vorschrift für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit
BioStoffV	Biostoffverordnung
BKI	Baukosteninformationszentrum Deutscher Architektenkammern GmbH
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BPI	Bundesverband der Pharmazeutischen Industrie e.V.
bspw.	beispielsweise
CAD	computer-aided design (rechnerunterstütztes Konstruieren)
cand.	Candidatus (Prüfling)
CSSB	Centre for Structural Systems Biology
DGUV	Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung
DIB	Deutsche Industrievereinigung Biotechnologie im Verband der Chemischen Industrie e. V.
DIN	Deutsches Institut für Normung
DNA	Desoxyribonukleinsäure
E	Experimentelles Arbeiten
EFI	Expertenkommission Forschung und Entwicklung
EN	Europäische Normung
(f)f.	(fort)folgende
FtF	Face-to-Face (Kommunikation)
FuE	Forschung und Entwicklung

GefStoffV	Gefahrstoffverordnung
GenTSV	Gentechnik-Sicherheitsverordnung
GUV	Gesetzliche Unfallversicherung
ID	Identity / Identifikation
IKT	Informations- und Kommunikationstechnologie
inkl.	inklusive
K	Kommunikatives Arbeiten
kWh	Kilowattstunde
LIMS	Labor-Informations- und Management-System
m ²	Quadratmeter
Mio.	Millionen
mm	Millimeter
MMH	Multimomenthäufigkeitszählverfahren
MPI	Max-Planck-Institut
Mrd.	Milliarden
n	Größe der Stichprobe
NFC	near field communication (Nahfeldkommunikation)
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
oT	ohne Tätigkeit
RNA	Ribonukleinsäure
Th	Theoretisches Arbeiten
TRBA	Technische Regeln für Biologische Arbeitsstoffe
TRGS	Technische Regeln für Gefahrstoffe
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
vfa	Verband forschender Arzneimittelhersteller e.V.
WZ	Klassifikation der Wirtschaftszweige
°C	Grad Celsius
%	Prozent

1 Einleitung

1.1 Motivation und Problemstellung

»Die Laboratorien sind die Tempel der Zukunft, des Reichtums und der Wohlfahrt. Nur dort wird die Menschheit grösser, stärker und besser.«¹

(Louis Pasteur, 1822-1895)

Die Themen Gesundheit, Umwelt und sich damit befassende Forschungsgebiete wie die Lebenswissenschaften oder die Biotechnologie sind wichtige Wachstumsmärkte. Diese Forschungsgebiete helfen dabei die Lebensqualität – weltweit – zu sichern und zu erhöhen. Sie gelten als Schlüsseltechnologien des 21. Jahrhunderts.² Sowohl die Lebenswissenschaften als auch die Biotechnologie integrieren vergleichbare Wissenschaftsdisziplinen und Forschungsthemen wie etwa die Pharmaforschung. Die Lebenswissenschaften beinhalten dabei ein etwas breiteres wissenschaftliches Spektrum als die Biotechnologie – abgesehen von bestimmten Ingenieurwissenschaften wie etwa die Verfahrenstechnik.³

Forschung und Entwicklung in den Lebenswissenschaften sind durch besonders hohe Aufwendungen gekennzeichnet. Sie sind deutlich höher als in anderen Wirtschaftszweigen. Dies wird bspw. anhand der Forschungs- und Entwicklungsaufwendungen in der Pharma- und Biotechnologiebranche deutlich.

Die Pharmabranche ist eine der weltweit umsatzstärksten Industrien. Auch in Deutschland ist die Pharmabranche ein wichtiger Industriezweig. Mehr als 550 Unternehmen, zumeist aus dem Mittelstand, beschäftigen rund 117.000 Mitarbeiter. 2017 setzte die Branche knapp 49 Mrd. Euro um, davon die forschenden Pharmaproduzenten mehr als die Hälfte mit rund 27 Mrd. Euro.⁴

¹ Zitiert in Kleeberg (1979), S. 59

² Vgl. Nefiodow (2007), S. 160; Kommission der Europäischen Gemeinschaft (2002), S. 5; Expertenkommission Forschung und Entwicklung (2008), S. 10; BMBF (2009), S. 17

³ Vgl. acatech (2017), S. 18; vgl. dazu auch Abschnitt 2.2

⁴ Vgl. BPI (2017), S.6; vfa (2018), S. 4-5

Die Entwicklung von pharmazeutischen Produkten ist aufwendig. Die Entwicklungskosten für ein neues Arzneimittel betragen durchschnittlich rund 1.200-1.800 Mio. US-Dollar. Betrachtet man nur den Bereich der Grundlagenforschung und die Präklinik, so fallen alleine hier Kosten von 600-800 Mio. US-Dollar pro Medikament an.⁵ Diese hohen Aufwendungen führen dazu, dass sich weltweit unter den Top 10 Unternehmen nach Ausgaben für Forschung und Entwicklung drei Pharmaunternehmen befinden.⁶ Auch die Biotechnologiebranche ist durch hohe Forschungsaufwendungen geprägt. So betragen die Aufwendungen der rund 600 deutschen Biotechnologieunternehmen 2016 dafür etwa 1 Mrd. Euro. Der Umsatz betrug im selben Zeitraum rund 3 Mrd. Euro – Tendenz steigend.⁷ Den durchschnittlichen Forschungs- und Entwicklungsaufwendungen der Biotechnologiebranche von rund 30 Prozent des Umsatzes stehen im gesamtwirtschaftlichen Durchschnitt in Deutschland nur rund 3 Prozent gegenüber.⁸ Auch die pharmazeutische Industrie liegt mit rund 8 Prozent deutlich über den durchschnittlichen Aufwendungen der Gesamtwirtschaft für Forschung und Entwicklung.⁹

Die große Bedeutung von Forschung und Entwicklung in den vorgenannten Wirtschaftszweigen zeigt sich auch im Anteil an Personal in den Unternehmen. So gibt die OECD für Deutschland einen Mitarbeiteranteil für Forschung und Entwicklung von rund 50 Prozent der dedizierten Biotechnologieunternehmen an.¹⁰ Bezüglich der Pharmabranche in Deutschland gibt der Verband der Forschenden Arzneimittelhersteller (vfa) für seine Mitglieder einen Anteil von rund 23 Prozent Forschungs- und Entwicklungspersonal an.¹¹ Der durchschnittliche Anteil in deutschen Unternehmen liegt bei rund 1,4 Prozent, wobei die Spitzenwerte von jeweils 12

⁵ Vgl. acatech (2017), S. 22

⁶ Vgl. Statista (2018)

⁷ Vgl. BMBF (2017), S. 8

⁸ Vgl. EFI (2018), S. 1. Genau: Anteil an Aufwendungen für Forschung und Entwicklung am Bruttoinlandsprodukt.

⁹ Vgl. Statista (2020); Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft e.V. (2020), S. 5

¹⁰ Vgl. OECD (2009), S. 45. Dedizierte Biotechnologieunternehmen sind definiert als biotechnologisch aktive Unternehmen, deren wesentliche Unternehmensziele die Anwendung biotechnologischer Verfahren zur Herstellung von Produkten oder die Bereitstellung oder Durchführung biotechnologischer Forschung und Entwicklung sind. Dedizierte Biotechnologieunternehmen stellen den Großteil der Biotechnologieunternehmen in der Statistik dar.

¹¹ Vgl. vfa (2020)

Prozent und mehr u. a. in der gesamten Pharma- und Chemieindustrie, der Kraftfahrzeugindustrie sowie der Elektroindustrie liegen.¹² Die vorgenannten Zahlen sind ein Indiz dafür, dass Effizienz und Produktivität gerade in forschungsintensiven Branchen wie der Biotechnologie und der pharmazeutischen Industrie – beispielhaft für die Lebenswissenschaften – eine entscheidende Rolle spielen (vgl. Abbildung 1).¹³

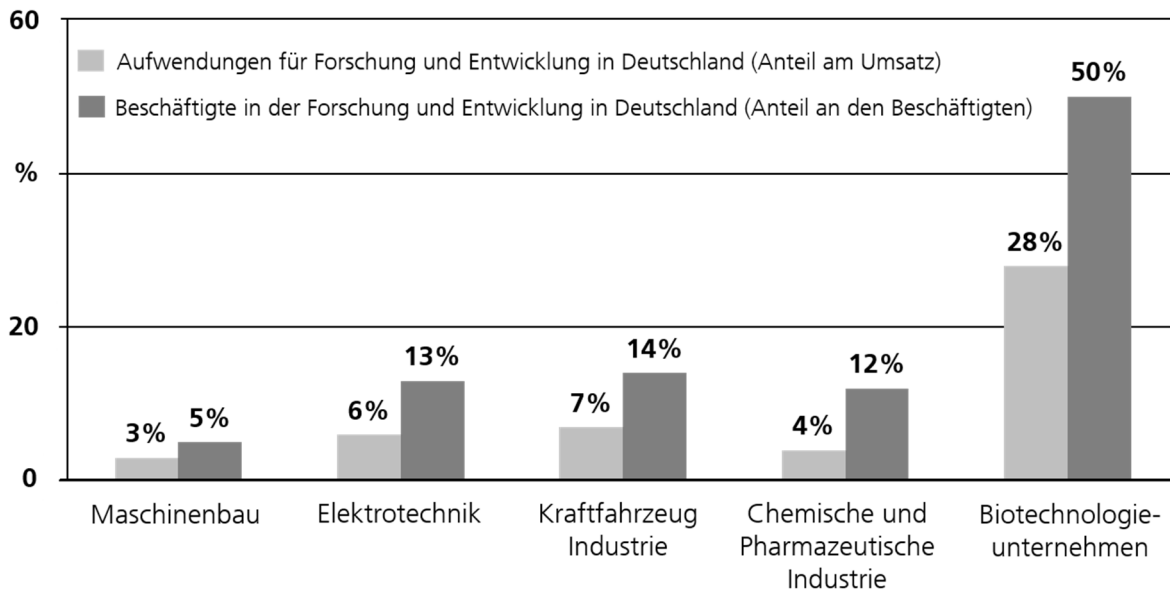


Abbildung 1: Forschungs- und Entwicklungsintensität ausgewählter Branchen¹⁴

Bauten für Forschung und Entwicklung geben dem Streben nach Erkenntnisgewinn und seinen Akteuren – den Forschern – eine Heimat.¹⁵ Dabei bestimmen das Labor und seine Ikonographie bis heute das allgemeine Verständnis von wissenschaftlicher Praxis.¹⁶

¹² WZ 20, 21, 26, 29. Vgl. Bundesagentur für Arbeit - Statistik (2019); Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft e.V. (2020), S. 5

¹³ Vgl. Bullinger (2006), S. 601

¹⁴ Stand: 2018. Eigene Abbildung (WZ 20, 21, 26, 28, 29, Biotechnologie ohne WZ-Nr.). Vgl. Bundesagentur für Arbeit - Statistik (2019); Statista (2019); Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft e.V. (2020), S. 5; Ernst & Young (2019), S.29; OECD (2009), S. 45. Die Zahl der FuE-Beschäftigten in dedizierten Biotechunternehmen ist von 2007. Der Anteil an FuE-Beschäftigten in diesen Unternehmen ist bis heute (Stand: 2020) nicht mehr explizit erfasst oder veröffentlicht worden.

¹⁵ Vgl. Grömling (2010), S. 866

¹⁶ Vgl. Schmidgen (2011), Einleitung

»Wissenschaft [...] ist ohne Labore undenkbar.«¹⁷ Sie sind die räumliche Basis naturwissenschaftlicher Forschung. In ihnen wird präpariert und gemessen, Daten werden interpretiert und dokumentiert. Gleichzeitig wird über Methoden, Verfahren und Ergebnisse gesprochen und diskutiert. Dies findet in einem Umfeld statt, welches Schutz- und Hygienefunktionen zu erfüllen hat – je nach Forschungsschwerpunkt Schutz des Menschen oder Schutz des Forschungsgegenstandes. Auf Grund dieser Vielfalt an Anforderungen sind Labore geprägt durch ein komplexes Geflecht baulicher und funktionaler Beziehungen unterschiedlicher Nutzungsbereiche mit besonderen technischen sowie rechtlichen Rahmenbedingungen.¹⁸

Bedingt durch die Anforderungen und Rahmenbedingungen haben Labore und ihre Gebäude hohe Baukosten und Betriebsaufwände. Während bspw. Bürogebäude hinsichtlich der Baukosten durchschnittlich bei 2.740 Euro pro Quadratmeter Nutzfläche liegen, beträgt dieser Wert bei Laborgebäuden 4.790 Euro.¹⁹ Wird als Beispiel für Betriebsaufwände der Primärenergiekennwert herangezogen, beträgt dieser bei Bürogebäuden jährlich etwa 70 bis 250 kWh/m², während er bei Laborgebäuden zwischen 350 und 1.300 kWh/m² liegt.²⁰ Diese Zahlen sind Indikatoren dafür, dass nicht nur die Effizienz des Forschungsprozesses inkl. des forschenden Personals, sondern auch eine effiziente Flächennutzung von besonderer Bedeutung für Labore sind. Die Flächennutzung wird dabei maßgeblich durch die räumliche Gestaltung der wissenschaftlichen Tätigkeiten des Personals im Labor bestimmt. Die räumliche Gestaltung unterstützt somit – im Ideal – effiziente Prozesse *und* eine effiziente Flächennutzung.

Seit einigen Jahren wird ein Wandel in den wissenschaftlichen Tätigkeiten und Arbeitsmethoden im Labor festgestellt. Dies spiegelt sich in einer veränderten Laborgestaltung wider. Die Informatisierung von Laborarbeit hat eine zunehmende Integration und Aufwertung von Arbeitsplätzen für theoretisches – computergestütztes – Arbeiten im Labor bewirkt.²¹ Klassische

¹⁷ Schmidgen (2011), Abschnitt 1

¹⁸ Vgl. Cordes/Holzmann (2007), S.17; Bullinger (2006), S.601

¹⁹ Vgl. BKI (2019), S. 108, 146

Die Kosten beziehen sich auf die Kostengruppen 300/400 nach der DIN 276.

²⁰ Vgl. Born (2014), S. 31; Birnbaum et al. (2007), S.10; Knissel (1999), S. 1

²¹ Vgl. Castor (2007), S.39; Cordes/Holzmann (2007), S. 12; Grömling (2005), S.38 f.; Hegger (2005), S. 30; Kuchenbecker (2008), S. 14; Spath et al. (2007), S. 9; Heinekamp (2015), S. 26-27

Schreib- und Auswertepätze für manuelle Auswertetätigkeiten und das Führen des Laborbuches²² waren früher – wenn vorhanden – anstatt oder ergänzend zu Büroarbeitsplätzen angelegt, da sie nicht den Anforderungen an Bildschirmarbeitsplätze genügen (mussten).²³ Schreib- und Auswertepätze haben sich in den letzten Jahren aber zunehmend zu Arbeitsplätzen gewandelt, die diesen Anforderungen genügen. Je nach Gestaltung und Lage werden sie auch als Büroarbeitsplätze genutzt und erfüllen beide Zwecke für das Forschungspersonal.

Ähnlich wie in anderen Arbeitsumgebungen sind Informationsflüsse und der kommunikative Austausch von Forschern ein sich änderndes Planungsparadigma für Labore. Insbesondere zunehmende Teamarbeit sowie ein gesteigertes Bewusstsein für Interaktion und Kommunikation im Forschungsprozess werden als Treiber für diese Entwicklung genannt. Dies gilt umso mehr für die stark interdisziplinär ausgelegten Lebenswissenschaften. Die erhöhten Anforderungen an Kommunikation führen zu offeneren Laboren, die dadurch u. a. die direkte »face-to-face« Kommunikation im Team bzw. in den Forschungsgruppen fördern sollen. Neben der Offenheit bedarf es dafür auch einer gewissen Nutzungsdichte im Labor.²⁴

Die vorgenannten Veränderungen von Laborarbeit und Laborgestaltung finden in der Planungsliteratur zu Forschungsgebäuden Erwähnung, über die tatsächlichen Tätigkeiten an den Laborarbeitsplätzen, deren Auslastung oder das Kommunikationsverhalten in Laboren ist allerdings wenig bekannt. De facto sind Untersuchungen über die räumlich-prozessualen Zusammenhänge der Arbeit in Forschungslaboren kaum existent oder entziehen sich durch Nicht-Veröffentlichung dem wissenschaftlichen Diskurs. Der bekannte Chemiker und Wissenschaftshistoriker Robert E. Kohler wies in einem Essay über Labore als Forschungsgegenstand verwundert auf den Mangel an Untersuchungen hin und bezeichnete Labore dort als »*analytically invisible*«. ²⁵ Obwohl diese Beobachtung vor zwölf Jahren veröffentlicht wurde, hat sie kaum an Aktualität verloren, wie die Literaturrecherche für diese Arbeit gezeigt hat.

²² Notizbuch für die Dokumentation von wissenschaftlichen Experimenten (Planung, Durchführung, Auswertung). Andere Bezeichnung: Laborjournal.

²³ Vgl. Arbeitsstättenverordnung (ArbStättV), Anhang 6

²⁴ Vgl. Castor (2006a), S. 3 f.; Cordes/Holzmann (2007), S. 10; Grömling (2010), S. 868; Hegger (2005), S. 28 f.

²⁵ Kohler (2008), S. 762

Fall- und Feldstudien sowie Nutzerbefragungen haben in anderen Arbeitsumgebungen zu einem besseren Verstehen von räumlich-prozessualen Zusammenhängen geführt und zu der Entwicklung von planerischen Methodensets beigetragen.²⁶ Gerade für Labore als bedeutende Basis für Erkenntnisgewinn und dessen Umsetzung bspw. in Produkte oder Patente, gilt es, ein Optimum an gestalterischer Qualität für die laborspezifischen Arbeitsweisen der Forscher zu finden und effizient umzusetzen. Dazu sind (arbeits-)wissenschaftliche Erkenntnisse abzugleichen und zu verifizieren: *»[...] wenn die Diskussion nicht rechtzeitig geführt wird, ist zu befürchten, dass geeignete Konzepte für zukunftsfähige Labore nicht mit der erforderlichen Sicherheit formuliert werden können.«²⁷*

Die vorliegende Arbeit möchte zu dieser Diskussion und einem besseren Lagebild der Arbeit im lebenswissenschaftlichen Labor beitragen. Die Arbeit zeigt eine Methode zur Analyse der Tätigkeitsverteilung im Labor und identifiziert Effekte von modernen Laborkonzepten. Sie bietet somit vertiefende Erkenntnisse für eine nutzergerechtere Gestaltung von Laboren.

1.2 Zielsetzung und Aufbau der Arbeit

1.2.1 Zielsetzung der Arbeit

Zu den Themen »Laborgestaltung« und »Laborarbeit« existieren lediglich Monographien und Sammelbände in den Bereichen Planungs- und Lehrliteratur. Die Planungsliteratur hat einen architektonischen sowie technischen Schwerpunkt und erläutert den Planungsprozess, Laborlayouts, Verordnungen, Normen sowie Gebäudestrukturen und -technik. Die Lehrliteratur zeigt auf wie ein Labor (sicher) zu nutzen ist bzw. wie Experimente im Labor durchzuführen und zu dokumentieren sind. Es handelt sich dabei um Methodenliteratur für Schüler, Auszubildende und Studenten. Die wenigen Monographien, die sich mit einer Betrachtung und Analyse von Laborarbeit bzw. der Arbeit von Forschern im Labor auseinandersetzen, sind epistemologischer bzw. wissenschaftssoziologischer Natur. Sie untersuchen, wie soziale Normen und das Verhal-

²⁶ Vgl. Kelter (2002), S. 49 ff.; Rief (2015), S. 150 ff.

²⁷ Kuchenbecker (2008), S. 15

ten von Forschern im Forschungsalltag die Entstehung von Wissen beeinflussen, bzw. wie wissenschaftliche Ergebnisse zu allgemein akzeptiertem »Wissen« werden.²⁸ Wissenschaftliche Publikationen oder gar tätigkeitsbezogene Studien zum Thema existieren nur in geringem Umfang (vgl. Abschnitt 2.9).

Kelter geht in seiner Erläuterung zur räumlich-organisatorischen Betrachtungsweise von einem dualen Ansatz zwischen objektiv messbaren Variablen wie bspw. der Raumgröße und einem komplexen wechselseitigen Aneignungsprozess zwischen den Nutzern und dem Raum aus, der durch Wahrnehmungen der Nutzer bzw. Wirkungen der räumlichen Arbeitsumgebung entsteht.²⁹ Um weiterführende Aussagen zu Wirkungsbeziehungen von Räumen bzw. Arbeitsumgebungen treffen zu können, müssen zunächst tatsächliche Raum- und Arbeitsplatznutzungen untersucht und beschrieben werden.

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich daher mit folgenden Forschungsfragen:

- Welche Arbeitsorte in der lebenswissenschaftlichen Laborumgebung sind in welchem Umfang mit welchen Tätigkeiten belegt?
- Sind Unterschiede in der räumlichen Verteilung von Tätigkeiten, ihren Merkmalen sowie der raumbezogenen Tätigkeitsintensität in verschieden gestalteten Laborumgebungen feststellbar? Falls ja, wie verändern sich diese Faktoren?
- Wie lassen sich die Verteilung von Tätigkeiten sowie spezifische Tätigkeitsmerkmale in Laborumgebungen untersuchen, so dass vergleichende Analysen möglich sind?

Den vorgenannten Forschungsfragen folgend, beschäftigt sich die vorliegende Arbeit mit zwei Zielsetzungen, die im Folgenden beschrieben werden.

Das erste Ziel der vorliegenden Arbeit ist eine Bestandsaufnahme von Tätigkeiten in der lebenswissenschaftlichen Laborumgebung hinsichtlich ihrer Anteile im Laboralltag sowie den Orten der Tätigkeitserbringung. Die Bestandsaufnahme basiert dabei insbesondere auf eigenen Untersuchungen.

²⁸ Vgl. Knorr Cetina (1995), S. 140 f.

²⁹ Vgl. Kelter (2002), S. 28

Im Mittelpunkt einer Vielzahl arbeitswissenschaftlicher Untersuchungen steht neben der Ergonomie von Arbeitsmitteln und Produkten, der Vorgabezeitermittlung in der Produktion sowie zahlreichen anderen Untersuchungsgegenständen, der Mensch und sein körperliches und geistiges Wohlbefinden bei der Arbeit. In der Montagearbeitsplatzauslegung geschieht dies bspw., indem die Dauerleistungsgrenzen ermittelt und eingehalten werden, was unter anderem zu geringeren Leistungsschwankungen führt. Das unterstützt eine nachhaltig schädigungslose Arbeit des Menschen. Zudem werden konstantere Arbeitsergebnisse gefördert, was sich unter anderem positiv auf die Produktqualität auswirkt.

In der Bürogestaltung konnten ebenfalls vielfältige Verbesserungen erzielt werden. In Folge zahlreicher Untersuchungen zu Tätigkeiten, Arbeitsweisen und ihren Anteilen an der Büroarbeit, wurden in darauf aufbauenden Studien bspw. Wirkungszusammenhänge mit Wohlbefinden und Leistungsfähigkeit der im Büro arbeitenden Menschen erforscht. Auf Grundlage solcher Forschungsvorhaben sind Werkzeuge und Modelle zur optimierten und passgenaueren Gestaltung von Arbeitsumgebungen für die Büro- und Wissensarbeit, sowie funktionalen Teilbereichen davon, entstanden.³⁰

Das zweite Ziel der vorliegenden Arbeit ist daher die Entwicklung einer Untersuchungsmethode zur Analyse der Anteile von Tätigkeiten in lebenswissenschaftlichen Laborumgebungen. Die Methode fokussiert dabei insbesondere auf die Untersuchung der Tätigkeitsverteilung sowie bestimmter Tätigkeitsmerkmale an den unterschiedlichen Arbeitsorten in der Laborumgebung. Mit der Methode sollen ergänzend dazu Besonderheiten definiert und bei Anwendung der Methode auch identifiziert werden können. Dies bezieht sich u. a. auf die Tätigkeitsauslastung an Arbeitsorten, an denen die betreffende Tätigkeit nicht-originär vorgesehen ist. Zum besseren Verständnis des Begriffs »Tätigkeit« wird sich für die weiteren Ausführungen an der Beschreibung von Hans Stirn orientiert, der sie ursprünglich verwendet hat, um damit Arbeit zu definieren. Er schreibt, dass es sich bei der Arbeit *»um ein Tätigsein handelt, bei dem Menschen sowohl untereinander als auch mit technischen Hilfsmitteln Interaktionen eingehen.«*³¹ *»Die Tätigkeit ist [...] planvoll, zielgerichtet und willentlich gesteuert [...]«.*³²

³⁰ Vgl. Rief (2015); Oeschger (2015); Rieck (2011); Kelter (2002)

³¹ Stirn (1980), S. 13

³² Ebenda

1.2.2 Beschreibung des Aufbaus der Arbeit



Abbildung 2: Aufbau der Arbeit

In **Kapitel 2** werden zentrale Begriffe der vorliegenden Arbeit definiert und Gestaltungsparameter von Laboren und Laborumgebungen inkl. ihrem rechtlichen Rahmen beschrieben. Für die Tätigkeiten in Laborumgebungen werden Bündel gebildet, die für die Beschreibung prägnanter Arbeitsweisen in Laborumgebungen verwendet werden. Basierend auf eigenen Untersuchungen werden daraufhin Anteile und Ausführungsorte in lebenswissenschaftlichen Laborumgebungen aufgezeigt und Veränderungen rückblickend beschrieben. Abschließend

werden in dem Kapitel Entwicklungsthemen zur Zukunft von Laborarbeit und -gestaltung vorgestellt.

In **Kapitel 3** wird die Methode zur Analyse der Anteile von Tätigkeiten und ihren Orten in Laborumgebungen entwickelt. Dazu werden aus der Befassung mit Forschung und Praxis gewonnene Erkenntnisse zu Anforderungen, Anwendungszweck und Anwendungsumfeld der zu entwickelnden Methode benannt. Dies dient als Grundlage zur Auswahl einer oder mehrerer arbeitswissenschaftlicher Untersuchungsmethoden, die weiterentwickelt werden zur Analysemethode für die Tätigkeitsverteilung in Laborumgebungen der Lebenswissenschaften. Fokussiert wird sich für das Auswahlverfahren auf Untersuchungsmethoden, die ihre Tauglichkeit für ähnliche Anwendungsfälle bewiesen haben. Dazu erfolgt eine eigene Einteilung arbeitswissenschaftlicher Untersuchungsmethoden. Nach der Eingrenzung in Frage kommender Methoden, werden diese in Hinblick auf den Anwendungszweck sowie erhebungs- und auswertungsrelevanter Gütekriterien bewertet und eine oder mehrere davon ausgewählt.

In **Kapitel 4** werden das Analysemodell mit seinen Komponenten und den Untersuchungsmerkmalen beschrieben sowie die Anwendungsmöglichkeiten und der Anwendungsablauf der Methode aufgezeigt. Der Mischung aus geistigen und nicht-geistigen Arbeitsweisen der Laborarbeit wird dabei Rechnung getragen. Ein besonderer Fokus des Analysemodells liegt daher neben experimentellem Arbeiten auch auf theoretischem und kommunikativem Arbeiten. Im Beziehungsgeflecht zwischen Gestaltungs-, Wirk- und Zielebenen von Forschungsumgebungen unterstützt das Analysemodell Untersuchungen zum Einfluss des räumlichen Umfeldes auf die Tätigkeitsverteilung und die Tätigkeitsintensität. Die Tätigkeitsintensität bezeichnet dabei die spezifische Tätigkeitsauslastung im Verhältnis zur Arbeitsplatzanzahl oder der nutzbaren Fläche. Mit diesen Verhältnissetzungen zur Beschreibung der räumlich-prozessualen Dichte, lassen sich Rückschlüsse auf die Nutzungseffizienz von Laborumgebungen ziehen. Gleichzeitig werden Qualitätsparameter zu Tätigkeiten und Tätigkeitsmerkmalen gebildet, um die tätigkeitsadäquate Nutzung von Laborumgebungen und ihren Arbeitsorten bewerten und vergleichen zu können.

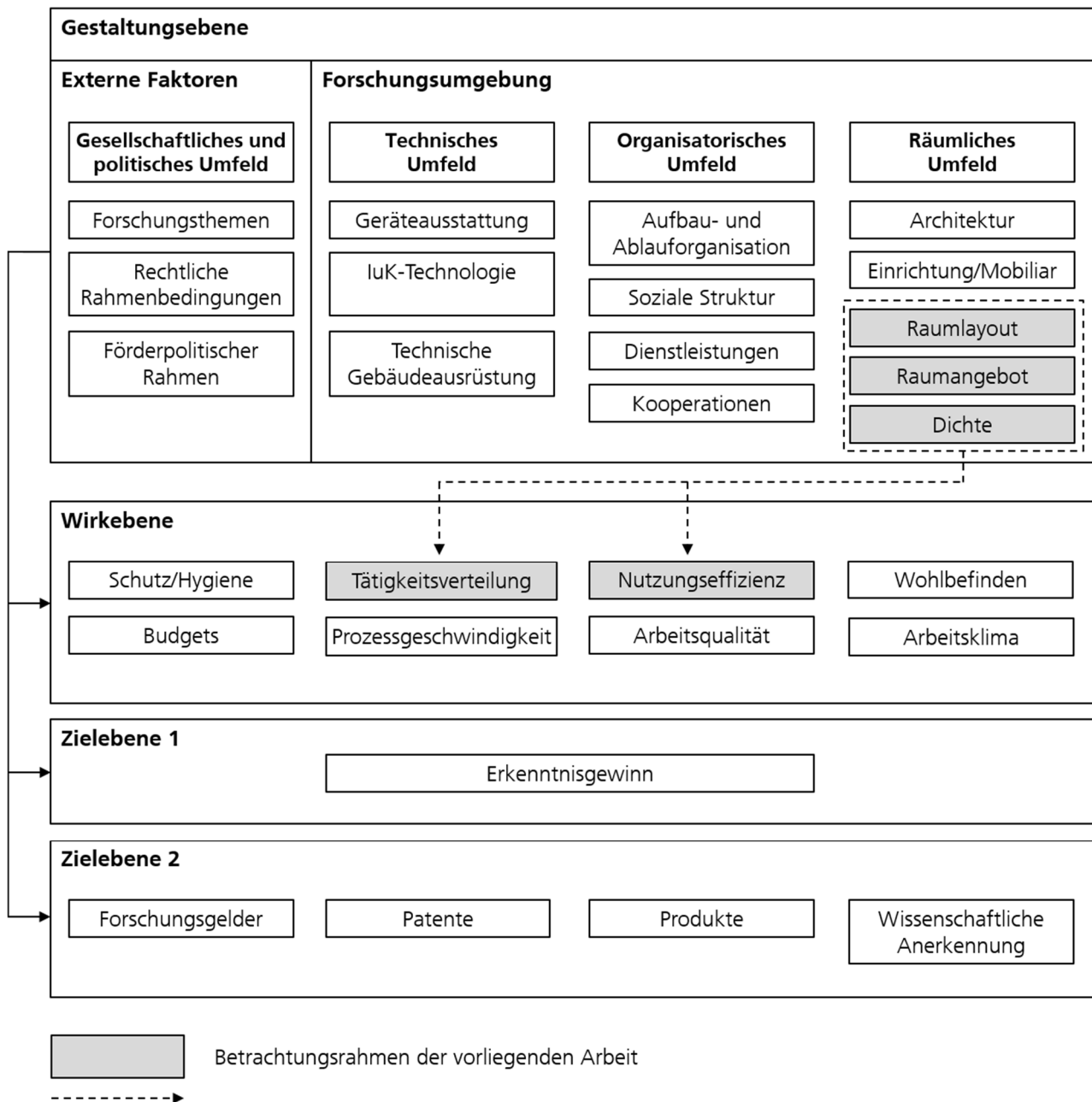


Abbildung 3: Gestaltungs-, Wirk- und Zielebenen einer Forschungsumgebung

Die Forschungsumgebung wird in der vorliegenden Arbeit insbesondere als physisch-räumliche Umgebung verstanden. Der räumliche Kontext wird im nachfolgenden Schalenmodell dargestellt (vgl. Abbildung 4) und in den Abschnitten 2.5.1 und 2.5.3 näher erläutert. Räumlicher Betrachtungsgegenstand der vorliegenden Arbeit sind die Laborumgebung mit dem Labor sowie seinem experimentellen Kernbereich. Diese Begriffe bezeichnen dabei Arbeitsraum für Forschung und experimentelle Entwicklung qua OECD Definition (vgl. Abschnitt 2.1).

Für die Eingrenzung des räumlichen Betrachtungsgegenstandes ist der Ausschluss von Laboren bedeutsam, die nicht den FuE-Kriterien der OECD entsprechen. Das bedeutet, dass reine Prüflabore mit Standarduntersuchungen bspw. in der Umweltanalytik, Qualitätssicherungslabore sowie Labore für die dediziert industrielle Produkt- oder Anpassungsentwicklung in der vorliegenden Arbeit nicht betrachtet werden.

In Ergänzung dazu sind die Lebenswissenschaften der forschungsrelevante Bezugsrahmen für die in der Arbeit betrachteten Laborumgebungen (vgl. Abschnitt 2.2).

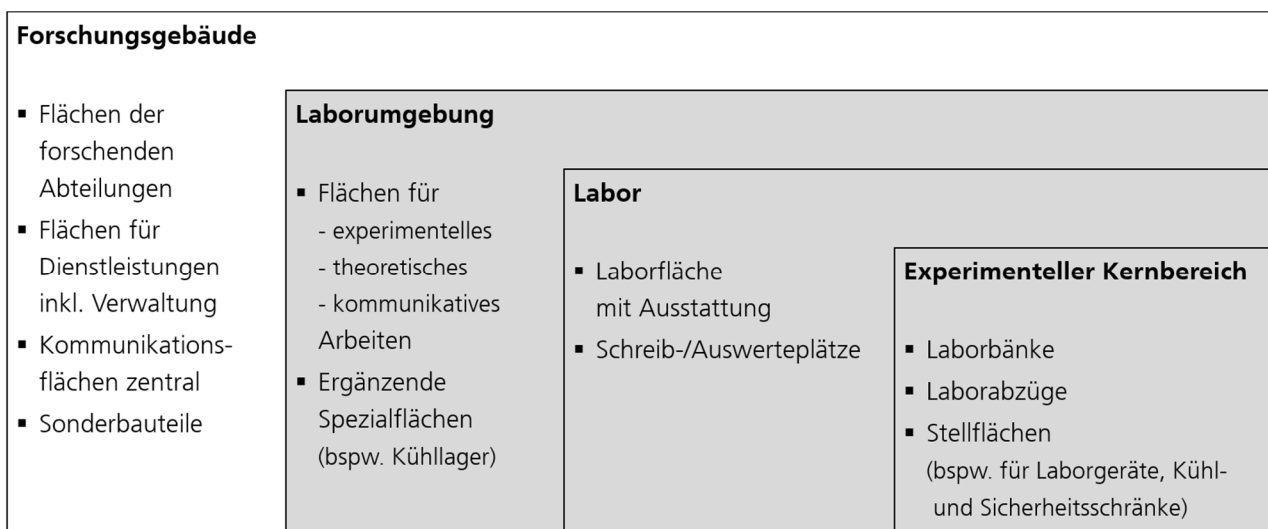


Abbildung 4: Schalenmodell zum räumlichen Betrachtungsgegenstand

In **Kapitel 5** findet die neue Methode Anwendung in der Praxis, um ihren Nutzen bezüglich Handhabung und der Generierung verwertbarer Informationen, zu eruieren. Im Anwendungsbeispiel sind dazu die Tätigkeitsverteilung und die Kommunikationsereignisse einer 20-köpfigen Forschungsgruppe der Lebenswissenschaften in zwei unterschiedlich gestalteten Laborumgebungen untersucht worden.

In **Kapitel 6** werden die Erkenntnisse aus der praktischen Anwendung der Methode kritisch diskutiert. Ergänzend wird ein Ausblick formuliert, der Anknüpfungspunkte zu weiteren Untersuchungen des Forschungsthemas enthält.

2 Stand von Forschung und Praxis

2.1 Definition von Forschung und experimenteller Entwicklung

»Forschung und experimentelle Entwicklung (FuE) ist schöpferische und systematische Arbeit zur Erweiterung des Wissensstandes – einschließlich des Wissens über die Menschheit, die Kultur und die Gesellschaft – und zur Entwicklung neuer Anwendungen auf Basis des vorhandenen Wissens.«³³ FuE zielt immer darauf ab »[...] anhand innovativer Konzepte (und ihrer Übertragung) oder Hypothesen neue Erkenntnisse zu gewinnen.«³⁴ Die OECD führt dazu fünf Kriterien auf, die Aktivitäten erfüllen müssen, um als FuE-Tätigkeit bezeichnet zu werden (vgl. Abbildung 5).

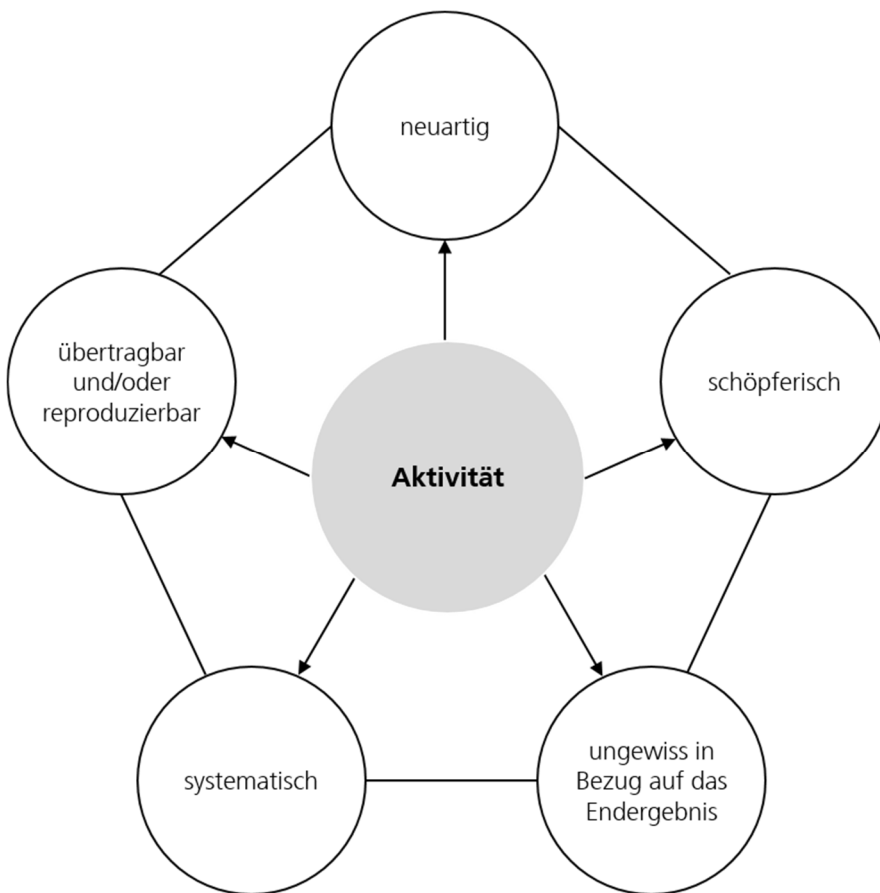


Abbildung 5: Fünf Kriterien der OECD zur Bestimmung von FuE Tätigkeit³⁵

³³ OECD (2018), S. 47

³⁴ Ebenda

³⁵ Ebenda; eigene Darstellung

2.2 Definition des Begriffs »Lebenswissenschaften«

Bislang konnte sich keine standardisierte Definition des Begriffs »Lebenswissenschaften« durchsetzen.³⁶ »Lebenswissenschaften« werden in Deutschland auch kongruent mit dem englischsprachigen Begriff »Life Sciences« oder mit dem Begriff »Biowissenschaften« beschrieben. Diese bezeichnen Aktivitäten, die sich mit Prozessen und Strukturen von Lebewesen beschäftigen. Neben der klassischen Biologie umfassen die Lebenswissenschaften somit auch Disziplinen wie etwa die Molekularbiologie. Das methodische Vorgehen ist stark interdisziplinär geprägt und schließt – neben biologischen Disziplinen – auch die Fachdisziplinen Chemie, Physik, Pharmazie oder etwa Informationstechnologie und Materialwissenschaften ein.³⁷ Mit der Erläuterung der Lebenswissenschaften bzw. Life Sciences durch die UNESCO wird ein erster beschreibender Rahmen durch eine große internationale Organisation gesetzt. Danach umfassen die Lebenswissenschaften »[...] alle Gebiete der Biochemie, Bioinformatik, Biologie, Biomedizin, Biophysik, Bio- und Gentechnologie, Ernährungswissenschaften, Lebensmitteltechnologie, Medizin, Medizintechnik, Pharmazie und Pharmakologie, des Umweltmanagements und der Umwelttechnik.«³⁸ Die Bezeichnung »Life Sciences« wurde in Deutschland zunächst häufiger in einem industriellen Forschungsumfeld als in der öffentlich geförderten Forschung verwendet, wo der Begriff »Lebenswissenschaften« eher gebräuchlich war. Auf Grund der Internationalisierung von Studien- und Ausbildungsgängen sowie Forschungsaktivitäten wird jetzt auch hier vermehrt von »Life Sciences« gesprochen bzw. werden beide Begriffe verwendet.³⁹

³⁶ Vgl. BioCon Valley (2008), S. 2

³⁷ Vgl. BMBF (2001), S. 4; Förderkreis Industrie- und Technikgeschichte e.V. (2003)

³⁸ Zitiert in acatech (2017), S. 68 (auf die Originalquelle kann nicht mehr zugegriffen werden). Nach Auskunft der deutschen UNESCO-Kommission per Email am 27.02.2020 speist sich dieser Text aus diversen UNESCO-Quellen, ergänzt um »Die Lebenswissenschaften sind für die menschliche Gesundheit und die Nahrungsversorgung wichtig und daher auch von herausragender Bedeutung für die Vereinten Nationen. Die UNESCO unterstützt seit jeher die Lebenswissenschaften gemeinsam mit der WHO und der FAO.« Eine weitere Grundlage für die Beschreibung ist die disziplinäre Abgrenzung von Wissenschaftspreisen der UNESCO in den Life Sciences.

³⁹ Der Begriff »Lebenswissenschaften« wird im Rahmen dieser Arbeit benutzt und ist kongruent zum Begriff »Life Sciences« zu sehen.

Die sogenannte »Biotechnologie« hat zahlreiche Schnittmengen zu den »Lebenswissenschaften«. Auch sie ist stark interdisziplinär geprägt. Da bislang keine allgemeingültige Definition der Lebenswissenschaften existiert, wird auf Grund eben jener Schnittmengen die »Biotechnologie« als feststehender und definierter Begriff zur näheren Beschreibung und Eingrenzung der »Lebenswissenschaften« verwendet. Die OECD definiert dabei Biotechnologie wie folgt: »*Biotechnologie ist die Anwendung von Wissenschaft und Technologie auf lebende Organismen sowie auf deren Bestandteile, Produkte und Modelle mit dem Ziel, lebende und nicht lebende Materialien für die Produktion von Wissen, Waren und Dienstleistungen zu verändern.*«⁴⁰ Ergänzend führt die OECD Themenschwerpunkte der Biotechnologie auf und benennt dazugehörige Verfahren (vgl. Tabelle 1).⁴¹

DNA/RNA	Genomik, Pharmakogenetik, Gensonden, DNA-Sequenzierung/-Synthese/-Amplifikation, Gentechnik, RNA, <i>großmaßstäbliche DNA-Synthese, Genom-/Gen-Editierung, Gene-Drive Verfahren.</i>
Proteine und andere Moleküle	Sequenzierung, Synthese und Veränderung von Proteinen und Peptiden (einschließlich hochmolekularer Hormone), Identifikation von Zellrezeptoren, verbesserte Darreichungsformen für hochmolekulare Wirkstoffe, Proteomik.
Zell-, Gewebekultur und Tissue-Engineering	Zell- und Gewebekultur, Tissue-Engineering, Hybridisierung, Zellfusion, Vakzine und Immunstimulanzien, Embryo-Kultivierung, <i>markergestützte Präzisionszucht, Metabolic Engineering.</i>
Methoden der Bioverfahrenstechnik	Fermentationen in Bioreaktoren, <i>Bioraffination</i> , Bioverfahren, biologisches Bleichen, biologische Zellstoffgewinnung, Laugung, Entschwefelung, biologische Umweltsanierung, <i>Biosensorik</i> , biologische Filtration, <i>molekulare Aquakulturen.</i>
Subzelluläre Organismen	Gentherapie, virale Vektoren.
Bioinformatik	Erstellung von Datenbanken mit Genomen oder Proteinsequenzen, Modellierung komplexer biologischer Vorgänge.
Nanobiotechnologie	Anwendung von Werkzeugen und Verfahren der Nano- und Mikrosystemtechnik zur Herstellung von Hilfsmitteln für die Erforschung biologischer Systeme sowie Anwendungen in der Wirkstoffdarreichung und Diagnostik.

Tabelle 1: Verfahren der Biotechnologie⁴²

⁴⁰ OECD (2013), S. 156

⁴¹ Vgl. OECD (2009), S. 9

⁴² Ebenda. Ergänzungen in kursiver Schrift: Friedrichs/van Beuzekom (2018), S. 8

Eine pointierter gefasste Definition der Biotechnologie findet sich bei der DIB.⁴³ Als definitivische Grundlage, bspw. zur Veröffentlichung statistischer Daten, wird die Biotechnologie wie folgt beschrieben:

»Unter moderner Biotechnologie werden alle innovativen Methoden, Verfahren oder Produkte verstanden, die die wesentliche Nutzung von lebenden Organismen oder ihrer zellulären und subzellulären Bestandteile beinhalten und dabei von Erkenntnissen der Forschung auf den Gebieten Biochemie, Molekularbiologie, Immunologie, Virologie, Mikrobiologie, Zellbiologie oder Umwelt- und Verfahrenstechnik Gebrauch machen. Die Gentechnik ist ein Teilgebiet der Biotechnologie.«⁴⁴

Die Definition der Biotechnologie durch die DIB ist in der Nennung der einzelnen Fachgebiete recht nah an der Beschreibung der Lebenswissenschaften durch die UNESCO. Hier zeigt sich deutlich die inhaltliche Ähnlichkeit. Auffallend ist der Unterschied bei den Ingenieurwissenschaften. So ist die Verfahrenstechnik in der UNESCO Beschreibung nicht Bestandteil der Lebenswissenschaften. Andererseits inkludiert die Beschreibung der Lebenswissenschaften durch die UNESCO explizit die Biotechnologie. Sie beinhaltet zudem mehr medizinische und pharmazeutische Fachgebiete als die Definitionen der Biotechnologie durch die OECD und DIB. Die explizite Nennung bestimmter Ingenieurwissenschaften als Bestandteil der Biotechnologie lässt sich vereinfacht damit erklären, dass der Grundsatz der Biotechnologie die technische Nutzung oder Nutzbarmachung von biologischen Reaktionen ist.⁴⁵

Wichtig zum engeren Verständnis der Lebenswissenschaften im Kontext der Laborarbeit sind vor allem die genannten biologischen Fachgebiete. Besonders zu beachten sind hierbei wesentliche Methoden, die in lebenswissenschaftlichen Laboren angewendet werden, in denen sich mit den Grundlagen des Lebens befasst wird. Diese Methoden sind überwiegend Bestandteil des Methodensets der »Molekularbiologie« und werden daher »molekularbiologische Methoden« genannt. Ausgerechnet dieses für die Lebenswissenschaften wichtige – quasi konstituierende – biologische Fachgebiet wird nicht explizit in der UNESCO Beschreibung erwähnt. Allerdings sind mit der Gentechnologie und Biochemie Fachgebiete aufgeführt, deren

⁴³ Deutsche Industrievereinigung Biotechnologie im Verband der Chemischen Industrie e. V.

⁴⁴ DIB (2019)

⁴⁵ Vgl. Neis-Beeckmann (2015), S. 30

Grenzen zur Molekularbiologie fließend sind. So kann die Molekularbiologie auch als Schnittmenge von Biochemie und Genetik gesehen werden. Die Genetik beinhaltet sowohl die Methodenforschung und -entwicklung (die Gentechnologie) als auch deren Anwendung zur Erforschung oder Veränderung des Erbgutes auf molekularer Ebene (die Gentechnik). Auf Grund des Anwendungsbezuges steht auch die Biotechnologie in enger verwandtschaftlicher Beziehung zu den vorgenannten Fachgebieten. Sie alle bilden sozusagen die biologische »Kernfamilie« der Lebenswissenschaften und sind im Fokus der vorliegenden Arbeit.⁴⁶

Lebenswissenschaften

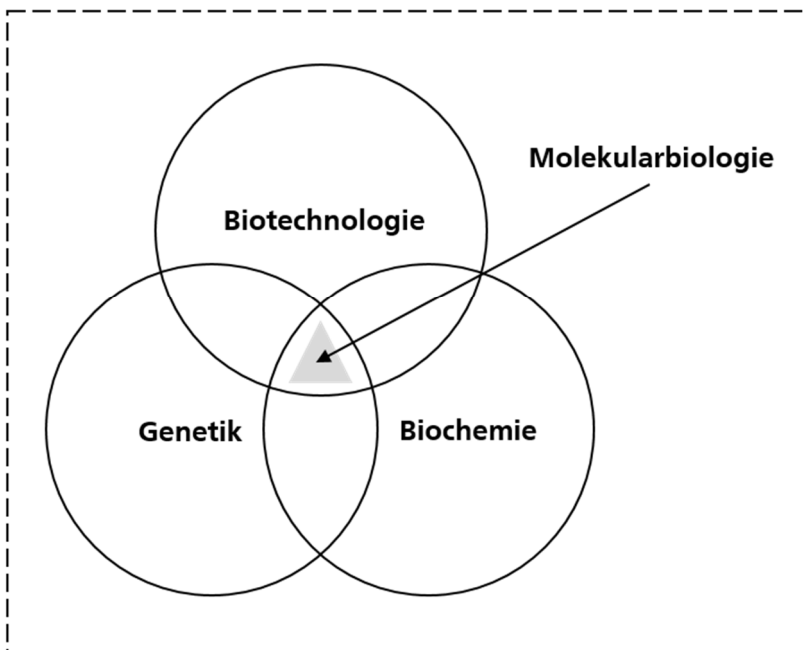


Abbildung 6: Biologische Verwandtschaftsbeziehungen in den Lebenswissenschaften⁴⁷

2.3 Die Bedeutung von Laborumgebungen für die Lebenswissenschaften

Der wesentliche Unterschied, welcher ein Labor von anderen Arbeitsumgebungen, bspw. von einem Büro, unterscheidet, ist die Möglichkeit Stör- und Umgebungsfaktoren optimal beeinflussen und kontrollieren zu können.

⁴⁶ Vgl. Neis-Beeckmann (2015), S. 29 ff.

⁴⁷ Neis-Beeckmann (2015), S. 30 (verändert)

Für die Forschung in den Lebenswissenschaften werden dadurch folgende Funktionen erfüllt:

- Zum einen wird im Labor – je nach Experiment – mit Organismen, Teilen davon oder Stoffen gearbeitet, die den dort arbeitenden Personen sowie Personen außerhalb des Labors gefährlich werden können. Hier geht es um eine Schutzfunktion für das Forschungspersonal und weitere Personen.
- Zum anderen bedürfen – je nach Experiment – die Organismen oder Teile davon einer Umgebung großer Reinheit, um Ergebnisse nicht zu verfälschen. Dazu dienen Hygiene bzw. das kontrollierte Verhindern des Einflusses möglicher Störgrößen. Geschützt wird hier der zu untersuchende Organismus oder Teile davon.

Baade nennt bezüglich der Hygiene interne und externe Einflussfaktoren, die es im Labor zu verhindern bzw. kontrollieren gilt. Dazu zählen als externe Faktoren Staub, Feuchtigkeit, Hitze, Kälte oder elektromagnetische Strahlung sowie wechselseitige Kontamination als interner Einflussfaktor.⁴⁸

Die Erfüllung von Schutz- und Hygienezwecken macht eine zentrale Funktion aber nicht die besondere Bedeutung eines Labors aus. Das Labor unterstützt die Menschen innerhalb des Forschungs- und Entwicklungsprozesses als räumlich-technische Einheit. Dazu erfüllt es auch die Funktion, das Forschungspersonal gemeinsam arbeiten zu lassen und sich austauschen zu können. Ein weiterer wichtiger Faktor, den es zu erfüllen gilt, ist die effiziente (d. h. in der Regel kostensparende) Nutzung von Fläche und Technologien.⁴⁹

In ihrer umfassenden anthropologischen Studie einer Forschungsgruppe im Salk-Institut für biologische Studien in den 70er Jahren suchten Latour und Woolgar (auch) nach Gründen für jährliche Differenzen in den durchschnittlichen Zitationszahlen der Veröffentlichungen der Gruppe. Die Unterschiede wurden hier eher an überfachlichen Forschungsthemen (die insgesamt mehr Forscher interessieren) sowie einem wichtigen Forschungsdurchbruch im Untersuchungszeitraum festgemacht. Ein wesentlicher Grund für den Forschungsdurchbruch schien hier die interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen einem Chemiker und den Biologen der

⁴⁸ Vgl. Baade (2003), S.5 f.

⁴⁹ Ebenda, S.6; vgl. Heinekamp (2015), S.13-19

Gruppe gewesen zu sein.⁵⁰ Latour und Woolgar nennen in ihrer Studie als wichtige Voraussetzung für eine erfolgreiche Forschungsgruppe »[...] *there is likely to be constant excitement about finding new statements, proving them, extending their influence [...] cashing credibility, and reinvesting it.*«⁵¹ Hier werden also Neugier und Enthusiasmus (»*excitement*«) als wichtige Treiber für den Forschungserfolg im Labor gesehen. Der schwedische Biologe Svante Pääbo nennt diese Treiber im Rahmen seiner Ausführungen im Aufsatz »*Was ist Forschung?*« ebenfalls. Er führt Zusammenhänge aber weiter aus und stellt so einen qualitativen Bezug zur räumlichen Umgebung her. Er bezeichnet die erfolgreichsten Forschungsgruppen als solche, die Kreativität und Enthusiasmus der Gruppe am besten mobilisieren können. Er nennt neben den Punkten »*interessante Fragestellungen*« und »*Finanzierung*« vor allem die soziale Struktur der Forschergruppe (das Arbeitsklima), durch die deren Arbeitsfreude und Kreativität gefördert oder gelähmt werden können. Dem Gebäude kommt dabei vor allem die Funktion zu, Kommunikation und soziales Leben zu fördern sowie der Entstehung lähmender Hierarchien entgegen zu wirken.⁵²

2.4 Definition des räumlichen Betrachtungsgegenstandes

Das »Labor« mit seinem experimentellen Kernbereich ist die räumlich-technische Basis innerhalb der Laborumgebung. Seine Gestaltung ist in wesentlichen Teilen konstituierend für den wissenschaftlichen Nutzungszweck. Der Begriff wird daher zur engeren Definition des räumlichen Betrachtungsgegenstandes der vorliegenden Arbeit herangezogen. »Labor« bezeichnet Arbeitsraum für Forschung, experimentelle Entwicklung und naturwissenschaftliche Prüfverfahren. Dazu werden Materialien und Organismen oder Bestandteile davon untersucht, verändert oder hergestellt. Neben der Untersuchung, Veränderung oder Herstellung von Materialien und Organismen werden im Labor auch Verfahren und Methoden neu entwickelt oder modifiziert.⁵³ Labore finden sich insbesondere in klassischen Naturwissenschaften wie Biologie, Chemie und Physik sowie in interdisziplinären Fachgebieten wie der Medizin. Obwohl sich Inhalte und Arbeitsweisen der Fachgebiete zum Teil unterscheiden, sind grundsätzliche Funktionen

⁵⁰ Vgl. Latour/Woolgar (1986), S. 72 ff.

⁵¹ Ebenda, S. 229

⁵² Vgl. Pääbo (2005), S. 10

⁵³ Vgl. Moeller/Oliveira (2006), Kapitel 3.2; Birnbaum et al. (2007), S. 14

und die Gestaltung von Laboren ähnlich, sofern sie in den Geltungsbereich von technischen Verordnungen, Regeln und Normen fallen. Praxisgerecht zusammengefasst sind die meisten dieser Verordnungen, Regeln und Normen in der DGUV Information 213-850: »Sicheres Arbeiten in Laboratorien – Grundlagen und Handlungshilfen«. Die Information wird von der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung herausgegeben. Die Regularien sind insofern bedeutend, als dass sie Sicherheits- und Schutzmaßnahmen beschreiben, die die bauliche, technische und organisatorische Umwelt beeinflussen sowie Maßnahmen zum individuell-persönlichen Schutz der Forschenden vorsehen. Sie wirken somit unmittelbar auf die Arbeit im lebenswissenschaftlichen Labor und seine Gestaltung. Wichtige Verordnungen und Regeln mit Einfluss auf die Gestaltung von Laboren und der Arbeit darin sind in Abbildung 7 dargestellt.

Die DGUV Information 213-850 grenzt den Betrachtungsgegenstand Labor definitorisch ein: *»Laboratorien sind Arbeitsräume, in denen Fachleute oder unterwiesene Personen Versuche zur Erforschung oder Nutzung naturwissenschaftlicher Vorgänge durchführen. Die Begriffe Laboratorium und Labor werden [...] gleichwertig benutzt. Hierzu zählen bspw. chemische, physikalische, medizinische, mikrobiologische und gentechnische Laboratorien. In solchen Laboratorien können weitere Methoden, bspw. molekularbiologischer Art gleichzeitig zur Anwendung kommen [...]«.*⁵⁴

Obwohl die Labordefinition der DGUV Information 213-850 explizit auch mikro-, molekularbiologische und gentechnische Labore umfasst, verweist sie in der Benennung des Anwendungsbereiches auf die »Technischen Regeln für Biologische Arbeitsstoffe: Schutzmaßnahmen für gezielte und nicht gezielte Tätigkeiten mit biologischen Arbeitsstoffen in Laboratorien« (TRBA 100). Da sich die vorliegende Arbeit mit Laborumgebungen für die Lebenswissenschaften befasst, wird daher, ergänzend zur Eingrenzung des Betrachtungsgegenstandes, die für diesen Zweck angepasste Labordefinition aus der TRBA 100 verwendet: *»Laboratorien [...] sind Räume, in denen Tätigkeiten mit biologischen Arbeitsstoffen [und Chemikalien] zu Forschungs- [und experimentellen] Entwicklungszwecken bspw. in der Human-, Veterinärmedizin, Biologie, Biotechnologie, [...] durchgeführt werden«.*⁵⁵

⁵⁴ DGUV (2020), Abschnitt 1

⁵⁵ TRBA 100, S. 2 (verändert). Auslassungen und Ergänzungen sind in eckige Klammern gefasst.



Abbildung 7: Wichtige Verordnungen, technische Regeln und ihr Rechtsrahmen

2.4.1 Notwendige Maße im Labor

Abstandsflächen im Labor dienen dem sicheren Arbeiten und Bewegen im Labor. Sie sind eine wichtige Gestaltungsgrundlage für das Ausbauraster von Laboren und somit auch für die Dimensionierung von Modulen für die Laborarbeit.

Die notwendigen Abstandsmaße beziehen sich auf den

- Durchgang zwischen Laborbänken, Geräten oder Einrichtungen ohne Nutzung als Arbeitsplatz (reiner Verkehrsweg ohne Bedienflächen).
Mindestabstand: 90 Zentimeter⁵⁶
- Abstand für eine nutzende Person zwischen einer Laborbank, einem Laborgerät und der Wand bzw. anderen Geräten oder dem Durchgangsbereich. »Wenn üblicherweise kein Platz erforderlich ist, damit andere Personen durchgehen können.«⁵⁷
Mindestabstand: 100 Zentimeter.
- Abstand zwischen zwei Laborbänken / Geräten, wenn zwei Menschen dort Rücken an Rücken arbeiten und »ein Durchgang für eine dritte Person benötigt wird.«⁵⁸
Mindestabstand: 145 Zentimeter (140 Zentimeter, wenn kein Durchgang für eine dritte Person notwendig ist⁵⁹).

Die Abstände sind ggf. zu vergrößern, wenn

- die Arbeitsflächen länger als 6 Meter sind,
- sich zwei Laborabzüge oder mikrobiologische Sicherheitswerkbänke gegenüberstehen,⁶⁰
- erhöhte Brand- oder Explosionsgefahr besteht,
- die Abstandsfläche Verkehrsweg für weitere Personen ist, die an den Laborbänken oder Geräten nicht unmittelbar tätig sind.⁶¹

Zonen für umfassende Schreib-/Auswertetätigkeiten sollen idealerweise als laborintegrierte aber abgetrennte Zonen zum experimentellen Kernbereich mit ausreichenden Arbeits- und Be-

⁵⁶ Vgl. DIN EN 14056:2003, S. 10

⁵⁷ Ebenda

⁵⁸ Ebenda

⁵⁹ Ebenda

⁶⁰ Ebenda, S. 11

⁶¹ Vgl. DGUV (2020), Abschnitt 6.2.1; DIN EN 12128:1998, Anhang A, S. 14; ASR A1.8, S. 8

wegungsflächen ausgeführt werden, bspw. abgetrennt durch eine bruch sichere, volltransparente Glasfront mit bidirektional öffnenden Glastüren. Ein weiterer Zugang zum Bereich für Schreib-/Auswertetätigkeiten, unabhängig vom experimentellen Kernbereich, wird empfohlen.⁶²

2.4.2 Einrichtung eines lebenswissenschaftlichen Labors

Die Effizienz der Arbeitsabläufe im Labor wird auch durch Anordnung der Einrichtung darin beeinflusst. Einrichtungen zur Bereitstellung der benötigten Laborfunktionen sollten somit funktional sinnvoll angeordnet werden. Dabei hat sich die Anordnung in Laborzeilen wandständig oder freistehend im Wechsel als »Halbinsel« oder »Insel« bewährt. Die Reduktion der bauseitigen Ausstattung auf die Medienversorgung bspw. mittels eines modularen Deckensystems (vgl. Abbildung 8) und die freie oder teil-fixierte Aufstellung von Laborbänken und Laborzeilen im Raum sind gängige Varianten einer flexibilitätsorientierten Laborgestaltung.⁶³ Die meisten Labormöbel haben standardisierte Maße. Sie werden in einem 30 Zentimeter Raster in Längen von 60-180 Zentimeter angeboten.⁶⁴ Die Tiefe der nutzbaren Arbeitsfläche der Laborbänke beträgt üblicherweise 90 Zentimeter⁶⁵. Laborbänke werden in Rasterhöhen von 72-75 Zentimeter für Sitzarbeitsplätze und 90 Zentimeter für Steharbeitsplätze angeboten. Bei höhenverstellbaren Laborbänken ist eine Spanne von 70-95 Zentimeter einstellbar.⁶⁶ Abzüge im Labor haben eine Tiefe über alles zwischen 60 und 120 Zentimeter. Die Höhe der Arbeitsfläche von Abzügen ist bei 95 Zentimeter begrenzt. Empfohlene Arbeitshöhen sind 0, 50, 72 und 90 Zentimeter mit einer Grenzabweichung von ± 5 Zentimetern.⁶⁷

Arbeitsplätze für Schreib- und Auswertetätigkeiten im Labor werden mit den Längenmaßen von 80-160 Zentimetern ausgeführt, wobei 80-120 Zentimeter die Maße für einfache Auswertplätze sind. Ein Schreibplatz mit dem Längenmaß von 160 Zentimetern und einer Tiefe von

⁶² Vgl. DGUV (2020), Abschnitt 6.2.1.1 und Abbildungen 13 b₁, 15

⁶³ Vgl. Eichler (2005), S. 54; Dittrich (2015), S. 222-223

⁶⁴ Vgl. Dittrich (2015), S. 198; DIN EN 13150:2001, S. 6

⁶⁵ Vgl. DIN EN 13150:2001, S. 5 »[...] mindestens 600 und höchstens 900 mm [...]«

⁶⁶ Vgl. Baade (2003), S.25; DIN EN 13150:2001, S. 5; Dittrich (2015), S. 203

⁶⁷ Vgl. DIN EN 14175-2:2003, S. 5

mindestens 80 Zentimetern entspricht von der Tischfläche her einem vollwertigen Büroarbeitsplatz.⁶⁸ Letztere Variante wurde in den letzten Jahren auf Grund der Zunahme an theoretischem Arbeiten in lebenswissenschaftlichen Laborumgebungen häufiger verwendet. Prinzipien der räumlich-funktionalen Zuordnung von Schreib-/Auswerteplätzen *im* Labor sind in Abbildung 13 sowie als Büroarbeitsplatz *am* Labor in Abbildung 16 zu sehen.



Abbildung 8: Modulares Deckensystem mit Medien- und Elektroanschlüssen⁶⁹

2.4.3 Dimensionierung von Laborflächen im Forschungsgebäude

Hinsichtlich der Dimensionierung von Laborflächen hat sich – aufbauend auf den erforderlichen Abstands- und Einrichtungsmaßen – in der Praxis ein Ausbauraster an der Fassade von 115-120 Zentimeter und folglich ein Konstruktionsraster von 345-360 Zentimeter (drei Rastereinheiten) bzw. 690-720 Zentimeter (sechs Rastereinheiten) bewährt. Dabei besteht ein »klassisches« Labormodul mindestens aus zwei Bereichen (sechs Rastereinheiten) mit gegenüberliegenden Laborbänken oder anderen Arbeitsplätzen wie etwa Abzügen und Schreib-/Auswerteplätzen. Mit diesem Raster sowie einer Tiefe des Labormoduls zwischen

⁶⁸ Vgl. Cordes/Holzmann (2007), S. 34; Söhngen (2017), S. 672

⁶⁹ Foto: Waldner Laboreinrichtungen GmbH & Co. KG (2014)

690⁷⁰ und 720 Zentimeter lassen sich Laborzeilen mit einer Länge ab etwa 420 Zentimeter und einem ausreichenden Abstand zwischen den Laborzeilen von mindestens 145 Zentimetern erzielen.⁷¹ In diesen Modulen lassen sich, je nach benötigter Laborzeilenlänge, sowohl Auswertplätze als auch vollwertige Schreibplätze jeweils rechtwinkelig zur Fassade realisieren. Der Flächenbedarf für ein Laborgrundmodul liegt mit den oben genannten Rastermaßen etwa bei 47-52 Quadratmeter. Das sind rund 8-13 Quadratmeter Laborfläche pro Person, wenn von einer Belegung dieses Moduls mit vier bis sechs Personen ausgegangen wird.⁷²

2.4.4 Grundtypologien von Laboren in den Lebenswissenschaften

Es gibt unterschiedliche Möglichkeiten, Labore zu typologisieren. Dies kann basierend auf dem wissenschaftlichen Forschungszweck, dem prozessualen Nutzungsschwerpunkt oder der Forschungsfinanzierung erfolgen. So können darunter etwa Labore in öffentlicher oder privatwirtschaftlicher Nutzung sowie Labore für Analytik, Ausbildung, Produktentwicklung oder eben Forschung und experimentelle Entwicklung zusammengefasst werden. Die Systematik von FuE-Laboren für die Lebenswissenschaften lässt sich mit drei wesentlichen Typologien beschreiben, die sich auf klassische Naturwissenschaften beziehen:

- Biologie,
- Chemie,
- Physik.

Physikalische Labore sind im Gegensatz zu den beiden anderen Typen eher als Experimentierwerkstätten zu verstehen. Sie haben keine Abzüge, benötigen aber viel Fläche für Versuchsaufbauten und Geräteapparaturen. Außerdem wird Fläche für »Racks« bspw. zur Integration von Mess-Sensorik benötigt.⁷³ Der *reine* Grundtypus des physikalischen Labors ist für die Lebenswissenschaften nicht von besonderer Bedeutung. Mischformen zur Zusammenarbeit mit der Biologie oder Medizin gibt es aber bspw. für das Forschungsfeld der Biophysik.

⁷⁰ Labormodule ohne oder mit einfachen Auswertplätzen frontal zur Fassade haben üblicherweise Modultiefen von rund 600 Zentimeter und eine Modulgröße von etwa 42-43 Quadratmetern.
Vgl. Grömling (2010), S. 868; Heinekamp (2015), S. 21; Söhngen (2017), S. 674

⁷¹ Vgl. Cordes/Holzmann (2007), S. 21; Heinekamp (2015), S. 14-18; Söhngen (2017), S. 671-673

⁷² Vgl. Braun (2005), S. 41; Heinekamp (2015), S. 8, 16

⁷³ Vgl. Grömling (2005), S. 48; Cordes/Holzmann (2007), S. 29-31

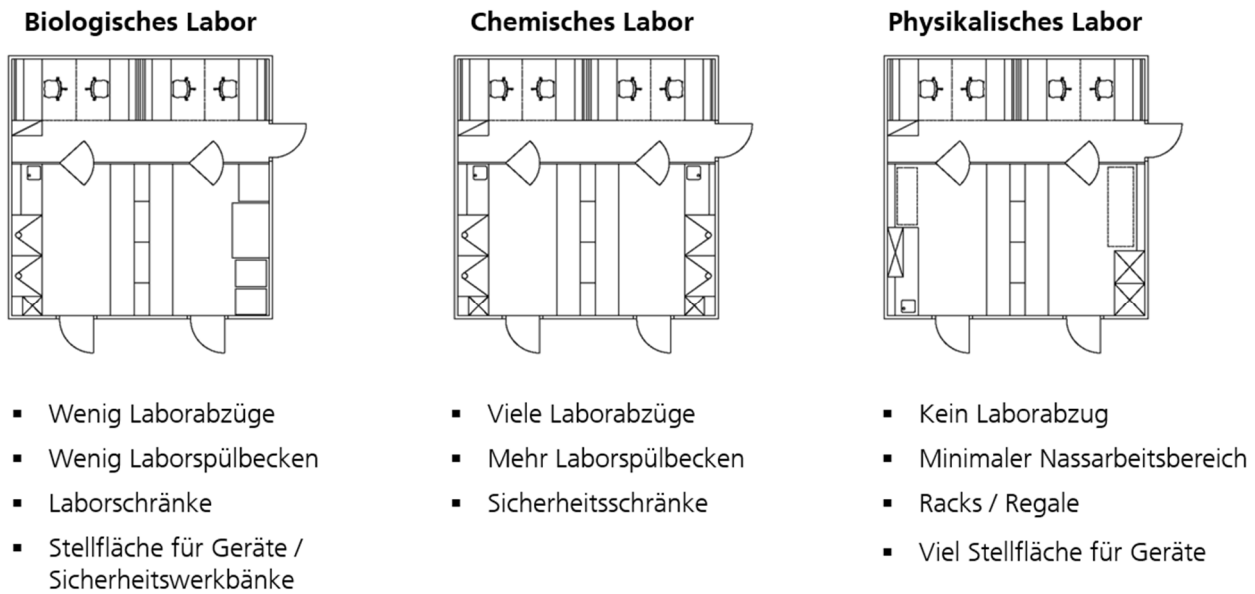


Abbildung 9: Prinzipdarstellung klassischer Grundtypologien von Laboren⁷⁴

Je nach Forschungsschwerpunkt kann es auch im modernen biologischen Labor notwendig sein, viel Fläche für Geräteapparaturen vorzuhalten. Dies erfolgt bspw. im Zuge der Nutzung von Geräten für Hochdurchsatzmessungen oder einem hohen analytischen Anteil im Forschungsprozess mit automatisierten Geräten für das Liquid Handling.⁷⁵ Auch biotechnologische Verfahren erfordern oftmals zahlreiche Geräteapparaturen und Prozesstechnik. In den vorgenannten Fällen können sich die biologischen und physikalischen Labortypen ähnlich sein. Unterschiede gibt es dann zumeist hinsichtlich der Raumkonditionierung und Sicherheits- bzw. Schutzmaßnahmen. In Forschungsgebäuden werden mittlerweile häufig Mischformen der klassischen Labortypologien für fachübergreifende Forschung abgebildet. Forschungsgebäude für die Lebenswissenschaften weisen bspw. oftmals eine Mischung von biologischen und chemischen Laboren – auch integriert – auf. Moderne Laborgestaltung kann zudem eine notwendige fachliche Flexibilität mit mobilen Labormöbeln und deckengebundenen Medienanschlüssen⁷⁶ unterstützen.

⁷⁴ Eigene Darstellung; vgl. Grömling (2010), S. 868; Grömling (2005), S. 38-39

⁷⁵ Liquid Handling bezeichnet den Umgang mit Flüssigkeiten im Labor. Dies umfasst Aktivitäten wie Dispensieren und Pipettieren.

⁷⁶ Vgl. Abbildung 8

Abbildung 10 zeigt den dreibündigen Grundriss eines lebenswissenschaftlichen Forschungsgebäudes aus den 70er Jahren mit kleinteilig angeordneten Laboren. Das gezeigte Labor wurde in den 90er Jahren neu ausgestattet. Es repräsentiert ein typisches Layout für ein biologisches Labor aus der Zeit. Es enthält eine Laborinsel (c, f) inkl. eines Laborabzugs (f) sowie zwei Wandreihen mit Spülbecken (a) und einer Sicherheitswerkbank (b). Die Auswertepplätze sind hier frontal zur Fassade angelegt (d, e).

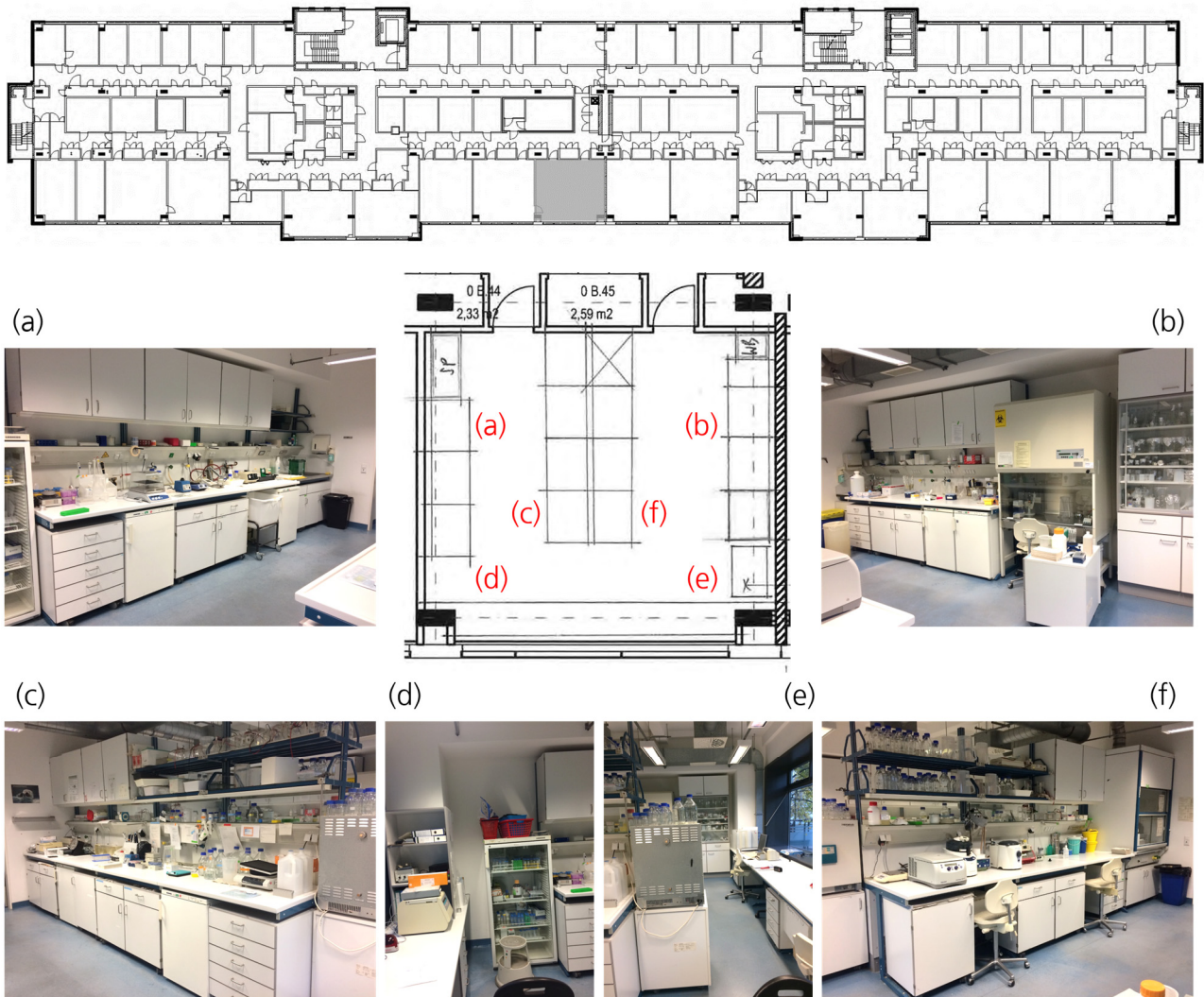


Abbildung 10: Dreibündiges Forschungsgebäude und biologisches Labor (graue Fläche)⁷⁷

⁷⁷ Fotos: Andrea Deiss (2018); Max-Delbrück-Centrum für Molekulare Medizin in Berlin.

2.4.5 Grundrissorganisation von Forschungsgebäuden für Laborumgebungen der Lebenswissenschaften

In »klassischem« Layout gebaute Labore der drei naturwissenschaftlichen Grundtypen (biologisch, chemisch, physikalisch) korrelieren historisch oftmals mit einer bestimmten Bündigkeit bzw. Tiefe ihrer Forschungsgebäude, wenn sie dem wesentlichen und originären Nutzungszweck der Forschung im Gebäude entsprechen. Dies hängt eng mit dem Bedarf an ergänzenden Spezialflächen und Dienstleistungsflächen zusammen. Forschungsgebäude, die für chemische Labore konzipiert sind, haben mehrheitlich zweibündige Grundrisse. Bei hohem Bedarf an Nebenräumen für Geräte oder Messungen (bspw. Kühl-, Tiefkühl-, Bruträume, Mikroskopie, Zellkultur) wird oft eine Dreibündigkeit als notwendig erachtet. Biologische Labore führen daher eher zu dreibündigen Grundrisskonzepten. In der praktischen Umsetzung baut man allerdings für die Lebenswissenschaften mit ihrem oftmals interdisziplinären Fokus, sowie kontinuierlich neuen wissenschaftlichen Disziplinen und Methoden, keine monodisziplinären Forschungsgebäude mehr. Interdisziplinäres Forschen verlangt nach (möglichst) flexibler Nutzbarkeit des Gebäudes und Adaptierbarkeit der Labore auf andere wissenschaftliche Disziplinen und Fachgebiete sowie andere Forschungsmethoden und -prozesse.

Abbildung 11 auf der nächsten Seite zeigt Prinzipien der Grundrissorganisation von Forschungsgebäuden für Laborumgebungen. Einige der Beispiele lassen auf demselben Grundriss unterschiedliche Laborlayouts zu. So lassen sich auch auf tiefen zweibündigen Grundrissen hochintegrierte Laborlandschaften realisieren ((e), (f)).

Die Beispiele a-c stellen – zumindest noch – Sonderfälle dar, als dass sich hier die Nutzungsbereiche Labor und Büro/Kommunikation bund- bzw. fassadenseitig teil-offen integrieren lassen für lebenswissenschaftliche Forschung, die ohne Sicherheits- und Schutzstufe auskommt.⁷⁸ Es ist mit diesen Grundrissen genauso möglich, ähnlich wie bei den tieferen zweibündigen Gebäuden, eine klassische Aufteilung vorzunehmen, mit Laborflächen auf der einen und Büros und Kommunikationsflächen auf der anderen Fassadenseite. Ein Forschungsgebäude mit lebenswissenschaftlichem Fokus, welches in der beschriebenen Struktur gebaut wurde, ist das

⁷⁸ Sicherheits- und Schutzstufen für Labore sind nach GenTSV oder BioStoffV von 1-4 klassifiziert. Die Klassifizierung legt spezifische Sicherheitsmaßnahmen für das betreffende Labor fest.

Hautforschungszentrum der Beiersdorf AG in Hamburg. Das Gebäude wurde 2004 fertiggestellt (vgl. Abbildung 12). Die Grundrissorganisation entspricht in etwa Beispiel (c) in Abbildung 11.⁷⁹

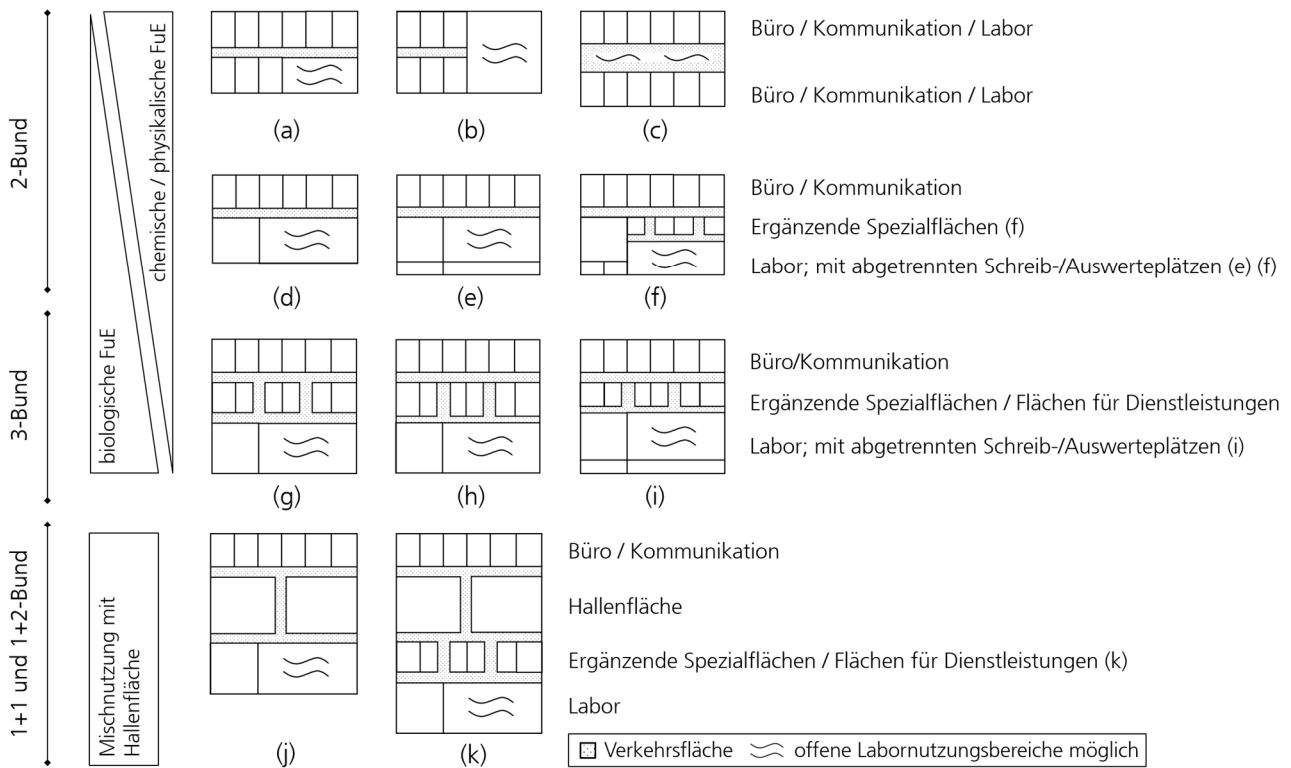


Abbildung 11: Grundrissorganisation von Forschungsgebäuden für Laborumgebungen⁸⁰

⁷⁹ Ein Gebäudebeispiel für den Grundriss (b) ist das Zentrum für Chemische Biologie der Universität Konstanz. Vgl. Behnke et al. (2014), S. 41-45

⁸⁰ Eigene Darstellung; vgl. Grömling (2005), S. 48; Cordes/Holzmann (2007), S. 29-31; Griffin (2005), S. 20 ff.; Dahan (2000), S. 101-118; Kuchenbecker (2008), S. 151 ff.



Abbildung 12: Hautforschungszentrum der Beiersdorf AG⁸¹

2.4.6 Veränderte Anforderungen an die räumliche Nutzung und Anordnung

Mit schneller fortschreitenden und bahnbrechenden Erkenntnissen in den Lebenswissenschaften⁸², mit der Etablierung neuer Teilgebiete⁸³ und der Entwicklung neuer Methoden⁸⁴ sind Arbeitsweisen in der FuE einem schnellen Wandel unterworfen. Wissenschaftliche Grenzen in der Laborarbeit verschwimmen und Wechselbeziehungen zwischen Labortyp und Labornutzung müssen sich in der Laborplanung widerspiegeln. Räumlich-prozessuale Synergien können bei folgenden nutzungsbezogenen und gestalterischen Ansätzen entstehen:⁸⁵

⁸¹ Fotos: Constantin Meyer (2004); Architektur: Eurolabors AG;
<https://www.hhs.ag/projekte-buero-haut-forschungszentrum.de.html> [Zugriff am 14.01.2020]

⁸² Bspw. die Entschlüsselung des menschlichen Genoms; BMBF (2001), S. 2

⁸³ Bspw. die Nanobiotechnologie.

⁸⁴ Bspw. CRISPR/Cas als molekularbiologische Methode zum gezielten Schneiden und Verändern von DNA sowie in Folge die vereinfachte genetische Manipulation von Säugetier- oder Pflanzenzellen; vgl. Charpentier, E. et al. (2012); Zhang, F. et al. (2013).

⁸⁵ Vgl. Baade (2003), S. 7; Cordes/Holzmann (2007), S.17; Heinekamp (2007), S. 31

- der Nutzung eines Labors für verschiedene Tätigkeiten,
 - der Nutzung eines Labors von verschiedenen Forschungsgruppen,
- und damit einhergehend
- einer hohen Standardisierung von Laborarbeitsplätzen.⁸⁶

Die Anordnung der Labore, Büros, der ausgewiesenen Kommunikationsflächen und sonstigen Räume in der Grundrissorganisation wirkt sich auf das Kommunikationsverhalten der Forscher untereinander aus. Die Schaffung von Begegnungspunkten für informelle und formelle Kommunikation unterstützt die Entstehung neuen Wissens und fördert Kreativität und Teamgeist innerhalb und zwischen Forschungsgruppen. Informelle Kommunikation lässt sich dabei partiell schon durch die integrierte Anordnung von Verkehrsflächen fördern. Die Einbeziehung von Flächen in Laborumgebungen reduziert zudem oftmals den rechnerischen Anteil an Verkehrsflächen und trägt zu einer effizienten Flächennutzung bei.⁸⁷ Generell sollte ein gewisses Maß an Kompaktheit in der Layoutgestaltung von Laborumgebungen erreicht werden. Vom Forschungspersonal gewünscht wird meist ein kurzer Weg zwischen den Nutzungsbereichen der Laborumgebung. Eine bauliche Differenzierung in reine Laborteile sowie Büroteile mit Kommunikationsflächen ist zwar wirtschaftlich günstiger aber meist aufgrund der längeren Wege unerwünscht. Dies führte – in unterschiedlichen Ausprägungen – zur Auflösung des »klassischen« Laborgrundmoduls⁸⁸ und zur Integration von größeren Schreib-/Auswertepätzen in das Labor sowie integrierten Geräte- bzw. Dienstleistungszonen.⁸⁹ In der Praxis finden sich bezüglich der Ansiedlung von Flächen für theoretisches Arbeiten folgende prinzipiellen Formen moderner Grundrissorganisation:

- a. Schreib-/Auswertepplatz für kurzzeitige Dokumentationen/Auswertungen innerhalb des Labors,

⁸⁶ Vgl. Baade (2003), S. 7

⁸⁷ Vgl. Boutellier et al. (2008), S. 372 f.; Hammes (2015), S. 60; Hegger (2005), S. 30; Heinekamp (2015), S. 25; Grömling (2005), S. 47 f.

⁸⁸ Vgl. Abbildung 10

⁸⁹ Vgl. Abbildung 14

- b. Schreib-/Auswertepplatz innerhalb des Labors mit größerer Arbeitsfläche und ggf. akustisch entkoppelt durch Glasschwerter oder Türen,
- c. Büro in räumlicher Nähe des Labors,
- d. Büro in einem separaten Gebäudetrakt.⁹⁰

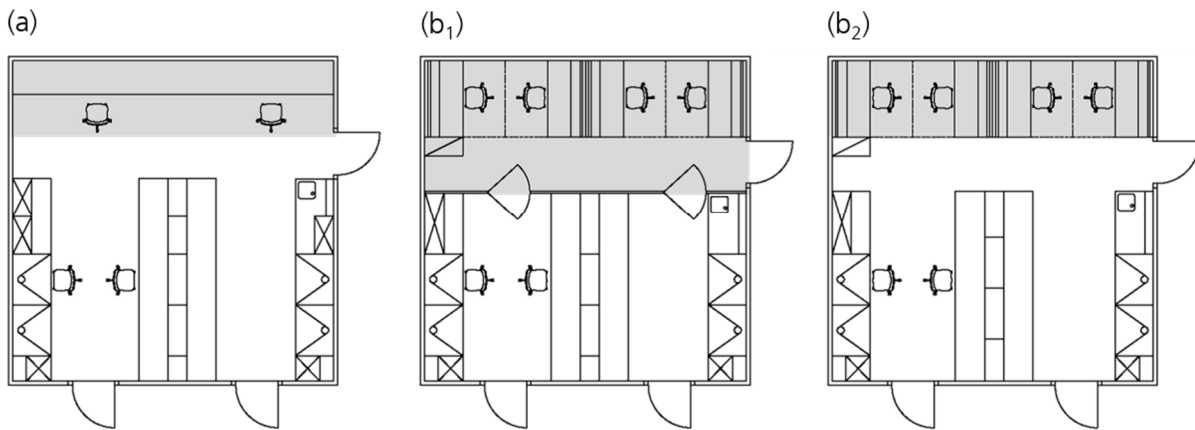


Abbildung 13: Integration von Schreib-/Auswertepätzen in das Labor (graue Flächen)⁹¹

Ziel einer Raumbedarfsplanung und Layoutgestaltung von Laboren muss eine sinnvolle Kombination und Integration der Nutzungsbereiche sein, die zur Optimierung der Arbeitsabläufe führt.⁹² Die Ausstattung wird hierbei durch sinnvolle Gruppierung von Standardlaboren mit unmittelbar zugehörigen Räumen als räumliche Nische oder Vorzone zum Labor ergänzt.⁹³

Insgesamt hat sich ein Wandel von kleinteiligen Laborstrukturen mit Trennung von experimentellem und theoretischem Arbeiten hin zu offeneren Strukturen vollzogen. Diese minimieren die Alleinarbeit und integrieren Sicherheitseinrichtungen wie Abzüge sowie ergänzende Spezialflächen zu abgeschlossenen Arbeitsbereichen. Dies bedeutet, dass insgesamt die Nähe zwischen Schreib-/Auswertepätzen, dem experimentellen Kernbereich und den ergänzenden Spezialflächen zunimmt. In Ergänzung dazu werden heutzutage häufig mehrere Labormodule

⁹⁰ Vgl. Cordes/Holzmann (2007), S. 27. Zu c.-d.: Aktuelle Laborumgebungen gehen z. T. von einer integrierten Gestaltung der abgetrennten Bürobereiche für Schreib-/ Auswertetätigkeiten am Labor aus (vgl. S. 51).

⁹¹ Vgl. Grömling (2005), S. 40. Die Plätze in der linken Abbildung sind nicht konform mit der Arbeitsstättenverordnung (ArbStättV, Anhang, Abschnitt 6).

⁹² Vgl. Baade (2003), S. 8; Heinekamp (2015), S. 23 ff.

⁹³ Vgl. Eichler (2005), S. 54; Heinekamp (2015), S. 23 ff.

zu großen Laborflächen zusammengefasst. Mit einer erhöhten Modultiefe (insgesamt rund 1.300–1.800 Zentimeter) und der oben erwähnten Integration von Verkehrsfläche in die Laborumgebung (laborinterner Verkehrsweg) werden moderne Laborlandschaften⁹⁴ oder Kombilabore, bzw. »Multi-Space-Labs«⁹⁵ geplant, die eine besondere Nähe zwischen Laborflächen, ergänzenden Spezialflächen, ggf. Dienstleistungsflächen sowie Arbeitsbereiche für Schreib- und Auswertetätigkeiten zulassen.

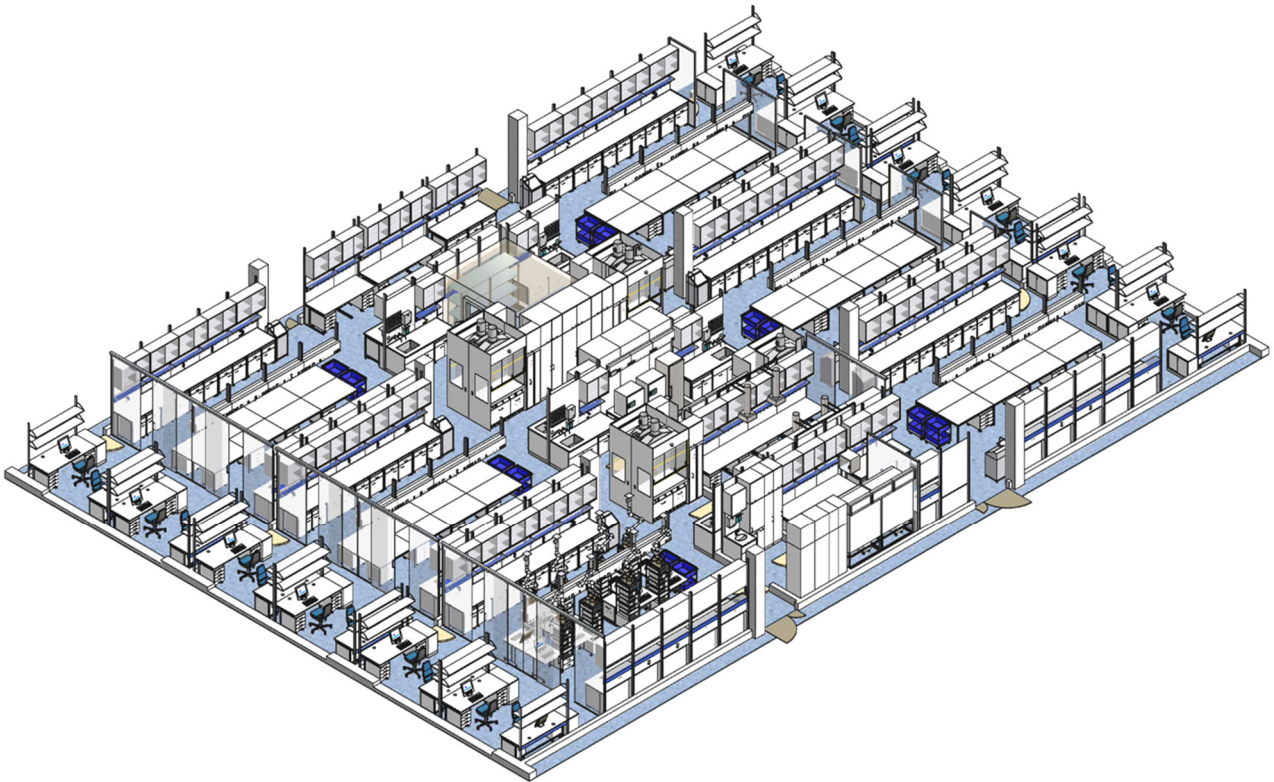


Abbildung 14: Beispieldarstellung einer Laborlandschaft⁹⁶

Die Abbildungen 15 und 16 zeigen zwei lebenswissenschaftliche Forschungsinstitute, für die moderne Laborlandschaften mit unterschiedlicher Ansiedlung von Schreib-/Auswertepätzen realisiert wurden. Das Forschungsgebäude des Max-Planck-Institut für die Biologie des Alterns in Köln wurde 2013 fertiggestellt und wird seit demselben Jahr genutzt (vgl. Abbildung 15). In

⁹⁴ Vgl. Heinekamp (2015), S. 23-26

⁹⁵ Vgl. Heinekamp (2007), S. 32 f.

⁹⁶ Ebenda, S. 33

Abbildung 16 wird ein typischer Geschossgrundriss des Zentrums für Strukturelle Systembiologie (CSSB) in Hamburg dargestellt. Dieses Forschungsgebäude wurde 2016 fertiggestellt und ist seit 2017 in Nutzung.⁹⁷ Beide Institute weisen neben den Laborlandschaften (vgl. Abbildungen 15/16 a-b) nahegelegene Besprechungsräume (vgl. Abbildung 15 c-d) und Kommunikationszonen in zentraler Lage des Gebäudes bzw. der Geschosse im Gebäude auf (vgl. Abbildungen 15/16 c). Die Bereiche für theoretisches Arbeiten (vgl. Abbildung 15 a-b; Abbildung 16 d-e) sind in beiden Instituten insofern unterschiedlich gestaltet, als dass die Schreib-/Auswertplätze für das MPI *einreihig* an der Fassade angesiedelt sind und sowohl über schleusenfreie seitliche Zugänge sowie vom experimentellen Kernbereich aus zugänglich sind. Für das CSSB wurden zwei Varianten umgesetzt, die eine räumliche Trennung vom experimentellen Kernbereich mit Blickbeziehung dahin vorsehen und als vollwertige Büroarbeitsplätze nach ArbStättV und korrespondierenden Arbeitsstättenregeln ausgeführt sind. Explizite Schreib-/Auswertplätze sind hier nicht laborintegriert umgesetzt worden. Eine der Varianten umfasst dabei eine *zweireihige* Ansiedlung. So wird mehr Forscherinnen und Forschern Platz für theoretisches Arbeiten in unmittelbarer Labornähe ermöglicht. Die Grundrissorganisation des Gebäudes für das Max-Planck-Institut entspricht in etwa dem Typ (e) in Abbildung 11. Für das CSSB entspricht sie in etwa den Typen (h) und (f; rechter Bereich) in derselben Abbildung.

Forschungsschwerpunkte: Max-Planck-Institut für die Biologie des Alterns in Köln

Das Institut ist eines der jüngsten Max-Planck-Institute. An dem Institut wird insbesondere die Alterung von Zellen erforscht. Im Zentrum der Forschungsarbeit steht dabei die Fragestellung, welche Gene daran beteiligt sind und welchen Einfluss Umweltfaktoren auf Alterungsprozesse in Zellen haben.⁹⁸

Forschungsschwerpunkte: Zentrum für Strukturelle Systembiologie CSSB in Hamburg

Am Forschungszentrum CSSB werden komplexe Prozesse und Wechselwirkungen zwischen Krankheitserregern und ihren Wirten sowie Grundlagen für neue Wirk- und Impfstoffe erforscht.⁹⁹

⁹⁷ Vgl. <https://hammeskrause.de/projekt/>; <https://www.cssb-hamburg.de/>; <https://www.age.mpg.de/de/> [alle Webseiten: Zugriff am 30.04.2020]

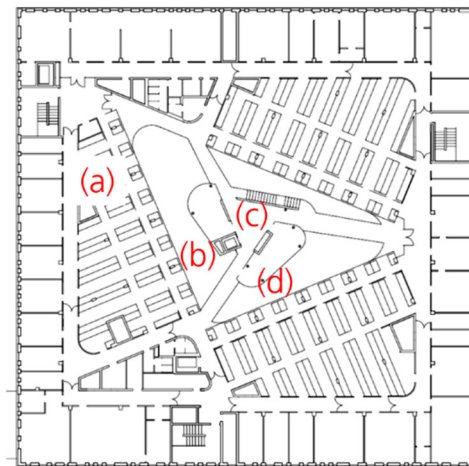
⁹⁸ Vgl. <https://www.age.mpg.de/de/> [Zugriff am 30.04.2020]

⁹⁹ Vgl. <https://www.cssb-hamburg.de/> [Zugriff am 30.04.2020]

(a)



(b)



(c)



(d)



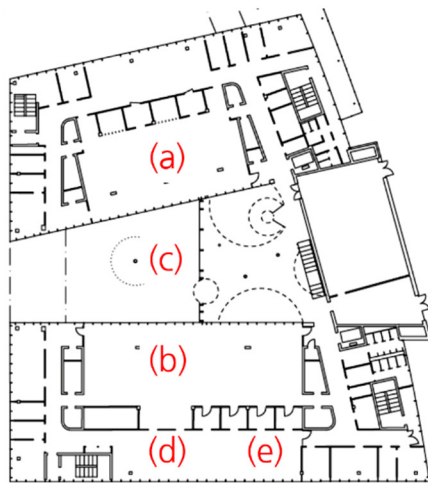
Abbildung 15: Laborlandschaft und -umgebung (MPI für Biologie des Alterns)¹⁰⁰

¹⁰⁰ Fotos: Waldner Laboreinrichtungen GmbH & Co. KG (a-b, 2013); Jürgen Schmidt (c-d, 2013);
Architektur: hammeskrause architekten bda

(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



Abbildung 16: Laborlandschaft und -umgebung (CSSB)¹⁰¹

¹⁰¹ Fotos: Werner Huthmacher (2016); Architektur: hammeskrause architekten bda

2.5 Tätigkeiten und Arbeitsweisen in Laborumgebungen der Lebenswissenschaften

2.5.1 Beschreibung der laborbezogenen Tätigkeiten und Arbeitsweisen

Im modernen lebenswissenschaftlichen Labor werden die nachfolgend genannten Arbeitsweisen praktiziert. Sie fassen die Vielzahl an Tätigkeiten in Laborumgebungen als Tätigkeitsbündel zusammen:¹⁰²

- **Experimentelles Arbeiten** bezeichnet traditionelle laborbankbezogene nass-präparative Tätigkeiten. Es unterscheidet sich in nass-präparative Tätigkeiten chemischer Art und molekularbiologischer Art. Die chemische Variante ist durch Arbeiten mit z. T. aggressiven Chemikalien (bspw. organische Lösungsmittel) geprägt und findet daher häufig unter Laborabzügen statt. Die molekularbiologische Variante ist durch Arbeiten mit Zellen und Zellbestandteilen in wässrigen Lösungen geprägt. Zu beiden Varianten gehört das Arbeiten mit kleineren Geräten und Apparaturen auf der Laborbank. Neben den eher üblichen nass-präparativen Tätigkeiten im lebenswissenschaftlichen Labor gibt es je nach Forschungsschwerpunkt auch trocken-präparative Tätigkeiten bspw. mit getrockneten Pflanzenteilen.
- **Theoretisches Arbeiten** bezeichnet gedankliche, Auswerte-, sowie Schreib- und Lese-tätigkeiten – im Wesentlichen durch die Nutzung von Computern gestützt (bspw. Methoden- und Prozessentwicklung, Dateninterpretation, Quellenrecherche, Erstellen von Forschungsberichten und wissenschaftlichen Artikeln, Führen des Laborbuches).
- **Kommunikatives Arbeiten** bezeichnet Tätigkeiten des verbalen Austausches zwischen Menschen. Die Ausprägungen von Kommunikationstätigkeiten sind vielfältig und im Vergleich zu den anderen Arbeitsweisen relativ ortsunabhängig in der Laborumgebung. Zu dieser Arbeitsweise gehören bspw. die Abstimmung zu Forschungsvorhaben, Forschungsstrategien und -themen, Gespräche zur Finanzierung, wissenschaftliche Vorträge, Methoden- und Ergebnisdiskussionen, Gespräche und Diskussionen im Rahmen von wissenschaftlichen Vorträgen sowie ungeplanter, spontaner Austausch.

¹⁰² Vgl. Cordes/Holzmann (2007), S. 15; Castor (2008), S.26 f.; Heinekamp (2007), S. 36; S. 39 ff., eigene Ergänzungen

Die vorgenannten Arbeitsweisen stellen die wesentlichen Merkmale laborbezogenen *Forschens* in den Lebenswissenschaften dar. Ergänzend dazu gibt es:

- Die Ausführung vor- und nachgelagerter logistischer Tätigkeiten wie bspw. Bestellungen von Labormedien oder Kits, Entsorgungs- und Spüllogistik, sowie die allgemeine Organisation von laborspezifischer Aufbewahrung, wie etwa Kühllager.

In der lebenswissenschaftlichen Forschung kommt zudem geräteintensives Arbeiten vor. Je nach Größe und Spezialisierung des Gerätes handelt es sich dabei um Apparaturen, die direkt im Labor, in eigenen Räumen der Laborumgebung oder zentral auf dem Stockwerk, im Forschungsgebäude oder am Forschungsstandort untergebracht sind.

- Geräteintensive Arbeit bezeichnet Tätigkeiten, die durch einen intensiven Bezug zu besonderen Gerätschaften oder einen technisch-geprägten Versuchsaufbau bestimmt sind. Dies ist oftmals in rein analytischen, hochdurchsetzenden Prozessen der Fall (bspw. Sequenzierung, Arbeit mit Laser- bzw. Hochvakuum-Apparaturen).

Ergänzend sei hier auch die ausschließlich computerbasierte Forschung erwähnt. Dies ist ein Teil lebenswissenschaftlicher Forschung, dessen Ausprägung in den letzten Jahren stark zugenommen hat und die Laborarbeit – gemeinsam mit einer steigenden Automatisierung – nachhaltig beeinflusst. Auf Grund der hohen Spezialisierung sind allgemeine Annahmen zur tatsächlichen Anwendung in lebenswissenschaftlichen Laboren schwerlich möglich.¹⁰³

- Im Rahmen von computerbasierter lebenswissenschaftlicher Forschung wird der Computer zentraler Bestandteil der eigentlichen Forschungsarbeit (bspw. Bioinformatik, in silicio Berechnungen, Simulationen).

Obwohl Arbeitsweisen im lebenswissenschaftlichen Labor durch ein hohes Maß an manuellen Tätigkeiten geprägt sind, so ist doch die geistige Arbeit der forschenden Person, die ein Problem löst, etwas untersucht, auswertet oder entwickelt, elementarer Bestandteil ihrer Tätigkeiten. Man kann somit wichtige Elemente der Arbeit in der Laborumgebung als Wissensarbeit bezeichnen.

¹⁰³ Vgl. Spath et al. (2007), S. 8; Castor (2006), S. 38 f.

Eine Definition dazu findet sich bei Hube: »*Wissensarbeit sind geistig objektivierende Tätigkeiten, die neuartige und komplexe Arbeitsprozesse und -ergebnisse betreffen, die äußere Mittel zur Steuerung der Komplexität und ein zweifaches Handlungsfeld benötigen.*«¹⁰⁴ Die Komplexität ist dabei laut Hube insbesondere durch hohen Kommunikations- und Kooperationsaufwand, Lern- und Weiterbildungsbedarf sowie Dynamik geprägt.¹⁰⁵

2.5.2 Kommunikation als ubiquitäre und vernetzende Tätigkeit in Arbeitsumgebungen der FuE

Direkte, gesprächsbasierte Face-to-Face Kommunikation (FtF) ist eine wichtige Tätigkeit in der Forschung und Entwicklung (FuE). Von Eggelkraut-Gottanka schreibt dazu, dass Kommunikation Organisationen prägt. Sie ermöglicht den Austausch von bereits existierendem Wissen und die Generierung neuen Wissens. Insbesondere FtF erleichtert dabei »*aufgrund der Interaktivität der Gesprächspartner den Transfer komplexer Inhalte.*«¹⁰⁶ Dies ist »*für den Wissenstransfer und die Wissensproduktion in der FuE von besonderer Bedeutung.*«¹⁰⁷

In Forschungs- und Entwicklungseinrichtungen sind fachübergreifende, kreative Lösungen essenziell bedeutsam. Bedenkt man, dass »*80 % des realen Produktionszuwachses der Industrie auf den forschungs- und entwicklungsintensiven Sektor zurückzuführen*«¹⁰⁸ sind, wird die Relevanz der FuE für die wirtschaftliche Entwicklung deutlich. Vor allem der FtF kommt »*eine Schlüsselrolle für den Transfer und die Produktion von Wissen in der FuE*«¹⁰⁹ zu. FtF mit Raumbezug wurde bisher in zahlreichen Studien untersucht – allerdings kaum im räumlichen Kontext von lebenswissenschaftlichen Laboren.

¹⁰⁴ Hube (2005), S. 61

¹⁰⁵ Ebenda, S. 63

¹⁰⁶ Eggelkraut-Gottanka (2010), S. 123

¹⁰⁷ Ebenda

¹⁰⁸ Ebenda, S. 1

¹⁰⁹ Ebenda

Neben der formalisierten Kommunikation bspw. in Besprechungen¹¹⁰ spielt auch die informelle Kommunikation eine erhebliche Rolle für die Produktivität («*overall productivity*»).¹¹¹ Aufbauend auf dieser – laut Serrato – etablierten Grundannahme, wurde in zahlreichen Studien versucht, herauszufinden, welche Faktoren sich in welcher Art und Weise auf die Kommunikation der Probanden auswirken und wie man die Kommunikationshäufigkeit verschiedenster Organisationsmitglieder erhöhen kann, um dadurch das Arbeitsergebnis bzw. die Produktivität zu verbessern. Sie schreibt dazu, dass es noch keine allgemein akzeptierten Erkenntnisse zum unmittelbaren, positiven Zusammenhang von Kommunikation und Produktivität gibt, da es zu zahlreichen Studien Gegenuntersuchungen gibt, die einen konträren Nachweis führen.¹¹² Coradi et al. weisen in Hinblick auf Wissensarbeit auf den Umstand hin, dass keine eindeutige Studienlage dazu existiert, dass offenere Arbeitsbereiche Kommunikation fördern. Sie verweisen im Gegenteil auch auf Studien, die mehr Kommunikation in geschlossenen Arbeitsbereichen nachgewiesen haben.¹¹³

Nach Boutellier et al. haben sich drei voneinander unabhängige Ansätze in der Wissenschaft herauskristallisiert, mit denen auf eine positive Wirkung der räumlichen Arbeitsgestaltung auf Produktivität geschlossen werden kann. Allen Ansätzen ist dabei gleich, dass Kommunikation darin zentraler Bestandteil ist. Der unmittelbare räumliche Bezug ist in den identifizierten Ansätzen allerdings nicht in derselben Ausprägung vorhanden. Ansatz eins bezieht sich auf den Einfluss von Raumgeometrie auf das Kommunikationsverhalten. In Ansatz zwei steht die organisationale Wissenskreierung im Zentrum der Betrachtung, wobei auch hier der persönlichen Kommunikation und somit auch wieder räumlichen Einflussfaktoren eine entscheidende Bedeutung zukommt. In Ansatz drei wird der direkte Einfluss von Kommunikation auf die Leistung untersucht.¹¹⁴ Als Konsequenz kann laut Boutellier davon ausgegangen werden, dass sich Kommunikation als ein bedeutender Baustein für die Produktivität weiter etablieren wird.¹¹⁵

¹¹⁰ Vgl. Rief (2015), S. 23 f.

¹¹¹ Serrato (2001), S. 59

¹¹² Ebenda

¹¹³ Vgl. Coradi et al. (2015), S. 58

¹¹⁴ Vgl. Boutellier et al. (2008), S. 373

¹¹⁵ Ebenda

Wu et al. konnten bspw. in einer Kommunikationsstudie nachweisen, dass in Netzwerken, die überwiegend FtF kommunizieren und einen guten Zusammenhalt (*»cohesion«*) haben, Produktivität positiv korreliert ist. Weiter stellten sie fest, dass die Produktivität bei komplexen Aufgaben in diesen Netzwerken sogar noch zunahm.¹¹⁶ In der wissenschaftlichen Auseinandersetzung mit Kommunikation und ihrer Wirkung auf Produktivität in FuE gibt es dabei zwei Einschätzungen zur Kommunikationswirkung bei starken und schwachen Bindungen der darin involvierten Personen. Ähnlich wie Wu et al. sehen einige der Forscherinnen und Forscher Vorteile bei starken Bindungen, andere sehen Vorteile in eher schwachen Bindungen der kommunizierenden Personen. Diese Ansicht beruht auf der angenommenen Beeinträchtigung kreativ *»out of the box«* zu denken, wenn man die Meinungen und das Verhalten von anderen Teilnehmenden gut kennt.¹¹⁷ Boutellier et al. betonen spezifische Vorteile beider Varianten. So beschleunigen starke Bindungen den Prozess des Austausches, während schwache Bindungen zu mehr Diversität im Denken und eher zu neuem Wissen führen.¹¹⁸

Aufbauend auf dem Vorgenannten verwundert es nicht, dass auch abteilungs- und fachübergreifende FtF wichtig für den Wissenstransfer in Forschungseinrichtungen ist. Heinzen et al. haben im Rahmen einer Längsschnittstudie Kommunikationsereignisse von 26 Forscherinnen und Forschern der pharmazeutischen FuE in Labor- und Bürobereichen untersucht. Die erste Untersuchung wurde in einer alten, zellbasierten Arbeitsumgebung vorgenommen. Zwei Vergleichsuntersuchungen wurden in einer neuen, offeneren Multi-Space Arbeitsumgebung, ebenfalls mit Labor- und Büroarbeitsplätzen, durchgeführt. Wichtige Erkenntnisse waren unter anderem, dass der fach- und abteilungsübergreifende Austausch insbesondere bei den *»research associates«*, die an den Laborbänken die Versuche durchführen, deutlich zunahm. So konnte ein deutlich besserer Informationsfluss entlang des FuE Prozesses erzielt werden. Eine weitere wichtige Erkenntnis der Untersuchung war die Veränderung der hierarchiebezogenen Kommunikation. Hier nahm die Kommunikation auf derselben Hierarchieebene mit anderen *»research associates«* deutlich zu, während die Kommunikation mit der eigenen Berichtslinie

¹¹⁶ Vgl. Wu et al. (2008), S. 2

¹¹⁷ Vgl. Boutellier et al. (2008), S. 374 f. Die Autoren verweisen in dem Teil ihres Artikels auf zahlreiche Vertreterinnen und Vertreter beider Strömungen. Da dies kein zentrales Thema der Arbeit ist, wird auf die Bezugnahme zu einzelnen Personen und ihrer Forschung verzichtet.

¹¹⁸ Ebenda

abnahm – ein Effekt, der von allen Beteiligten positiv aufgenommen wurde.¹¹⁹ Die Erkenntnis aus der Vergleichsstudie, dass offenere Arbeitsumgebungen inkl. Laboren den fach- und abteilungsübergreifenden Austausch unterstützen können, mit gleichsam positiven Effekten für das Aufbrechen hierarchischer Kommunikationslinien, ist bedeutsam. Dazu trägt sicher bei, dass Kommunikation per se nicht an bestimmte Arbeitsorte gebunden ist und somit die einzige Tätigkeit darstellt, die Laborumgebungen voll durchdringen kann.

2.5.3 Nutzungsbereiche der Lebenswissenschaften in Forschungsgebäuden

Laborumgebungen sind Teil eines räumlichen Verbundes, der vielfältige Nutzungsbereiche für den Forschungsprozess beinhaltet. Aufbauend auf den beschriebenen Tätigkeiten und Arbeitsweisen im vorangegangenen Abschnitt lassen sich die Nutzungsbereiche eines Forschungsgebäudes wie folgt differenzieren¹²⁰:

- Flächen für nass-präparative Tätigkeiten (experimentelles Arbeiten)

Dies sind insbesondere die Flächen der experimentellen Kernbereiche in den Laboren der wissenschaftlichen bzw. forschenden Abteilungen und Arbeitsgruppen, die den Lebenswissenschaften zuzuordnen sind. Zu diesen Flächen zählen auch ergänzende Spezialflächen wie etwa Sonderlabore mit hohem Schutzgrad sowie Zellkulturräume oder Dunkelräume für Mikroskopie. Je nach Organisation der Institute oder Unternehmen sind diese Flächen abteilungsübergreifend oder abteilungsspezifisch organisiert.

- Flächen für Auswerte-, Schreib- und Lesetätigkeiten (theoretisches Arbeiten)

Diese Flächen umfassen Schreib-/Auswerteplätze für das forschende Personal. Die Ausprägung der Schreib-/Auswerteplätze reicht von einfachen, eher kleinen, Arbeitsplätzen für versuchsbegleitende Auswertungen im Labor hin zu büroähnlichen Schreibplätzen für umfassende – computergestützte – Recherche- und Dokumentationstätigkeiten, bis zu vollwertigen Büroarbeitsplätzen.

¹¹⁹ Vgl. Heinzen et al. (2018), S. 1142-1145

¹²⁰ Vgl. Cordes/Holzmann (2007), S. 12 f.; Grömling (2005), S. 42

- Flächen für Dienstleistungen¹²¹

Diese Flächen umfassen Raumbereiche, die den Forschungsprozess unterstützen. Dazu zählen Infrastrukturflächen wie Spülküchen, Autoklavenräume sowie andere Ver- und Entsorgungsbereiche aber auch Einrichtungen wie etwa eine Bibliothek oder Druckerei. Je nach Forschungsschwerpunkt, Organisation und Größe der Forschungseinrichtung sind auch diese Nutzungsbereiche abteilungsübergreifend organisiert oder den Abteilungen unmittelbar zugeordnet.

- Flächen für Kommunikationstätigkeiten (kommunikatives Arbeiten)

Hierzu zählen zentral angeordnete Gemeinschaftsbereiche, wie bspw. eine Kantine sowie Aufenthalts- und Besprechungsflächen – formeller und informeller Natur. Auch diese Flächen können abteilungsübergreifend oder abteilungsspezifisch organisiert sein. Je nach Ausrichtung der Forschungseinrichtung zählen zu den Gemeinschaftsbereichen auch Lehrflächen wie Hörsäle und Seminarräume. Insbesondere im industriellen Umfeld können zu den Gemeinschaftsbereichen auch Projekträume gehören.

Je nach den Forschungsinhalten und der Ablauforganisation der Forschungseinrichtung werden größere Nutzungsbereiche mit einem speziellen Anforderungsprofil in Sonderbauteilen am oder separat vom eigentlichen Forschungsgebäude angesiedelt. Die besonderen Anforderungen betreffen häufig Hygiene- und Sicherheitsaspekte wie bspw. den benötigten Luftwechsel. Zu diesen Nutzungsbereichen zählen u. a. Gewächshäuser, Tierhäuser oder große Reinraumflächen.

¹²¹ Im Laborkontext häufig auch als »Services« bezeichnet.

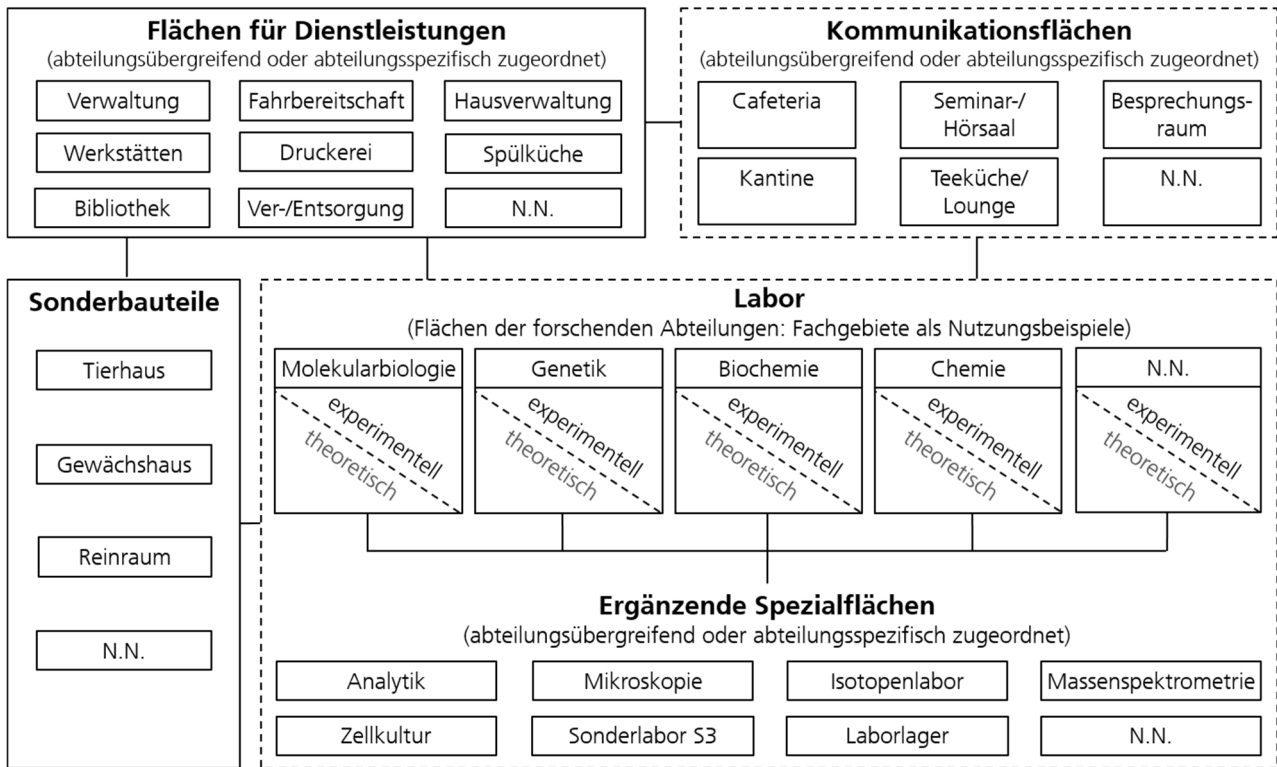


Abbildung 17: Nutzungsbereiche eines lebenswissenschaftlichen Forschungsgebäudes¹²²

2.5.4 Der Experimentalprozess und seine Verortung

Der wesentliche Bestimmungszweck von Laboren für FuE ist die Durchführung von Experimenten mit dem Ziel des Erkenntnisgewinns bzw. der Erweiterung des Wissenstandes. Ein Experiment lässt sich als systematischer Beobachtungsvorgang beschreiben, in welchem der Untersuchende das interessierende Phänomen erzeugt und/oder variiert und dabei Störfaktoren durch dazu geeignete Techniken ausschaltet bzw. kontrolliert.¹²³

Der laborbezogene Experimentalprozess besteht aus Probenvorbereitung, Messung sowie Auswertung und Dokumentation. Während Probenvorbereitung und Messung im experimentellen Kernbereich und/oder in ergänzenden Spezialflächen stattfinden, finden Auswertung und Dokumentation zumeist am Schreib-/Auswertepplatz oder im Büro statt. Im Zuge eines klassischen

¹²² Eigene Darstellung; vgl. Grömling (2005), S. 42. Die »Laborumgebung« wird durch Nutzungsbereiche abgebildet, die sich in den gestrichelten Rahmen der Abbildung befinden.

¹²³ Vgl. Sarris (1992), S. 129, zitiert in Albers/Klapper et al. (2009), S. 18

Ablaufschemas für ein Forschungsprojekt¹²⁴ werden theoretische Arbeiten, wie bspw. Recherchen, welche der Entwicklung einer Experimentalstrategie oder auch der Methodenentwicklung bzw. Methodenauswahl dienen, in der Laborumgebung durchgeführt. Grundsätzlich können Recherchetätigkeiten aber dem gesamten Experimentalprozess zugeordnet werden, da sie im Sinne einer konstanten Qualitätssicherung oder Optimierung der angewandten Methoden notwendig sein können. Die Entwicklung, Ableitung oder Auswahl einer Strategie oder Methode findet aber im Wesentlichen am Anfang der experimentellen Prozesskette statt.

Kommunikationstätigkeiten finden an allen Orten der Laborumgebung, die für den Experimentalprozesses benötigt werden, statt. Je nach benötigter Schutz- oder Sicherheitsstufe für die spezifischen Forschungsaufgaben sowie der finanziellen Ausstattung der Forschungseinrichtung, können auch Flächen für Kommunikation oder gar Einzelbüros in das Labor integriert sein. Auf Grund der üblichen sicherheitsrelevanten Anforderungen und den damit verbundenen Aufwänden für die technische Gebäudeausstattung von Forschungsgebäuden, sind diese Nutzungsbereiche in der Regel aber vom Labor entkoppelt und somit der Laborumgebung zuzurechnen.

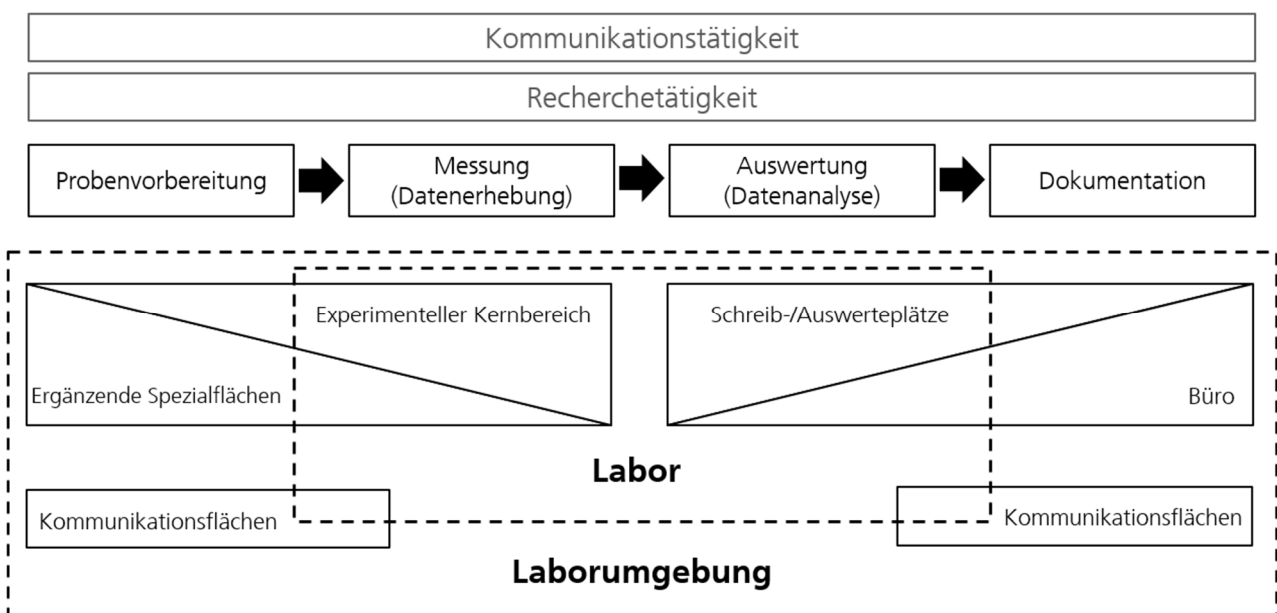


Abbildung 18: Der Experimentalprozess und seine Verortung in der Laborumgebung

¹²⁴ Vgl. Riesenhuber (2009), S. 15

2.5.5 Tätigkeiten im Labor am Beispiel molekularbiologischer Methoden

Wie in Abschnitt 2.2 beschrieben sind molekularbiologische Methoden von zentraler Bedeutung für lebenswissenschaftliche Forschung. Das bedeutet nicht, dass diese Methoden vollumfänglich in jedem lebenswissenschaftlichen Labor angewendet werden. Sie haben aber eine derart universelle Bedeutung für moderne lebenswissenschaftliche Forschung, dass zentrale Methoden der Molekularbiologie hier als Beispiel herangezogen werden, um zu verdeutlichen, was nass-präparative Tätigkeiten und damit einhergehende Arbeitsschritte im Labor bedeuten.

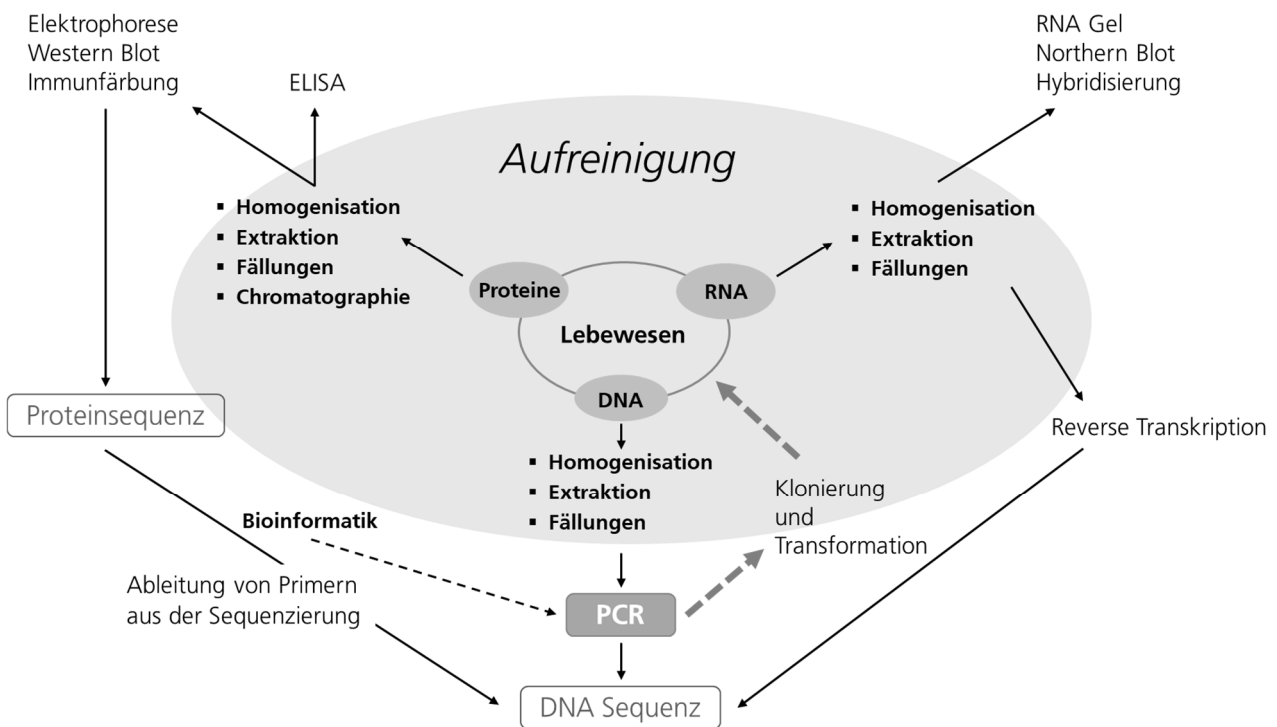


Abbildung 19: Zentrale Methoden der Molekularbiologie¹²⁵

Im Zentrum der Molekularbiologie steht die Replikation der DNA zur Vervielfältigung und Weitergabe der genetischen Information an Tochterzellen. Der genetische Informationsweg läuft von der DNA über die RNA zum Protein. Aufbauend auf diesem Dogma befassen sich zentrale Methoden der Molekularbiologie mit der Aufreinigung u. a. von DNA und RNA.¹²⁶ sowie der Klonierung und Transformation. Die Aufreinigung bezeichnet Methoden zur Trennung der

¹²⁵ Reinard (2010), S. 8 (verändert)

¹²⁶ RNA = Ribonukleinsäuren. Diese sind unter anderem verantwortlich für die Umsetzung von genetischer Information in Proteine. DNA = Desoxyribonukleinsäure. Die DNA ist Speicher genetischer Information und somit Träger der Erbinformation von Lebewesen.

DNA/RNA aus einem Gemisch oder einer Lösung, die weitere Biomoleküle enthält. Klonierung meint dabei Methoden zur Gewinnung und Vervielfältigung von identischer DNA. Dies geschieht zum Zwecke der Untersuchung ihrer Eigenschaften oder um die DNA für weitere Anwendungen zu nutzen. Transformation ist ebenfalls ein Teilschritt der Klonierung und bezeichnet die Übertragung von DNA in andere Zellen, bspw. von Bakterien oder Hefen. Als Bindeglied zwischen verschiedenen Methoden der Klonierung und Transformation fungiert die Polymerase-Kettenreaktion (PCR). Sie ist »Dreh- und Angelpunkt«¹²⁷ molekularbiologischer Methoden.

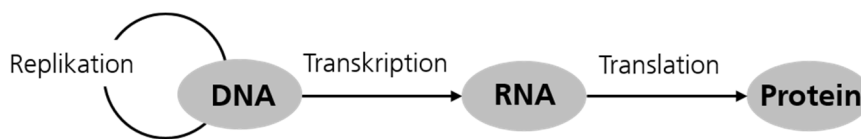


Abbildung 20: Dogma der Molekularbiologie¹²⁸

Nachfolgend werden Vorgehensweisen zu der Aufreinigung von Nukleinsäuren sowie die Polymerase-Kettenreaktion beschrieben. Die Auswahl ist exemplarisch. Sie dient der Verdeutlichung von molekularbiologischen Methoden im Kontext eines lebenswissenschaftlichen Labors.

Aufreinigung von Nukleinsäuren

Zunächst werden Zellen aufgebrochen aus Gewebe oder einer Zellkultur, um an DNA/RNA zu gelangen. Dieser Vorgang wird Homogenisation genannt. Nutzt man eine Zellkultur, ist vorab eine Kultivierung der Zellen notwendig. Je nach Zelltyp ist das dazu benötigte Gerät ein sogenannter CO₂ Inkubator – ein spezieller Schrank zur Züchtung von Zellkulturen. Je nach Menge und dem Bedarf an spezifischen Sonderkulturen befindet sich ein solcher Inkubator als Tischinkubator direkt im experimentellen Kernbereich auf einer Laborbank oder ist separat als Standgerät ausgeführt. Bei größeren Zellmengen können diese auch gebündelt in Lagerflächen, also in ergänzenden Spezialflächen, untergebracht sein. Für die Aufzucht des häufig in der Molekularbiologie verwendeten Bakteriums *Escherichia coli* ist ein Inkubationsschüttler notwendig. Benötigt man die Bakterien in einer bestimmten Wachstumsphase, wird die Phase mittels eines

¹²⁷ Reinard (2010), S. 8

¹²⁸ Ebenda, S. 10 (verändert)

Photometers ermittelt. Auch hierbei handelt es sich oftmals um ein kleineres Gerät, welches auf einer Laborbank Platz findet.

Der Rohextrakt entsteht durch mechanische Zerkleinerung bspw. mittels eines Vortexmischers oder eines Ultraschallgerätes. Auch diese sind üblicherweise laborbankfähige Geräte. »Klassisch« wurde bzw. werden für den Prozess ein Mörser und Pistill verwendet. Als chemische Mittel werden je nach Methode flüssiger Stickstoff und/oder eine Pufferlösung benötigt.¹²⁹ Die andere Variante des Aufbrechens ist die ausschließliche Nutzung eines chemischen Mittels wie etwa Natronlauge. Hierbei nennt man das Ergebnis auch Lysat und den Prozess selber Lyse.

Typische Aufreinigungsprozesse zur Abscheidung von DNA/RNA sind verschiedene Verfahren der sogenannten Fällung. Die Nukleinsäuren werden durch Zentrifugation dabei zunächst als Sediment abgetrennt und danach mittels eines neuen Puffers gelöst. Das Verbringen des Rohextraktes bzw. der Pufferlösungen mit Zellbestandteilen in unterschiedliche Gefäße und Geräte findet im gesamten Prozess mittels Mikropipetten statt. Pipettieren ist wahrscheinlich die häufigste Tätigkeit im molekularbiologischen Forschungslabor und wird zumeist noch manuell ausgeführt.

Die vorgenannten Arbeitsschritte sind typische nass-präparative Tätigkeiten im Labor. Die benötigten Mittel und mindestens die Escherichia coli Bakterien sind in einem Labor ab der Schutz- oder Sicherheitsstufe S1 verwendbar, wobei der Umgang mit Flüssiggasen wie etwa flüssigem Stickstoff besonderer Vorsichtsmaßnahmen bedarf.

Benötigt man mehr von der zuvor aufgereinigten DNA, kommt die auf den folgenden Seiten beschriebene Methode zur Anwendung.

¹²⁹ Pufferlösungen sind wässrige Lösungen oder Suspensionen basierend auf einer Salz-/Säure-/Basen-Mischung (bspw. ein Gemisch aus Essigsäure und Natriumacetat).

Polymerase-Kettenreaktion (PCR)

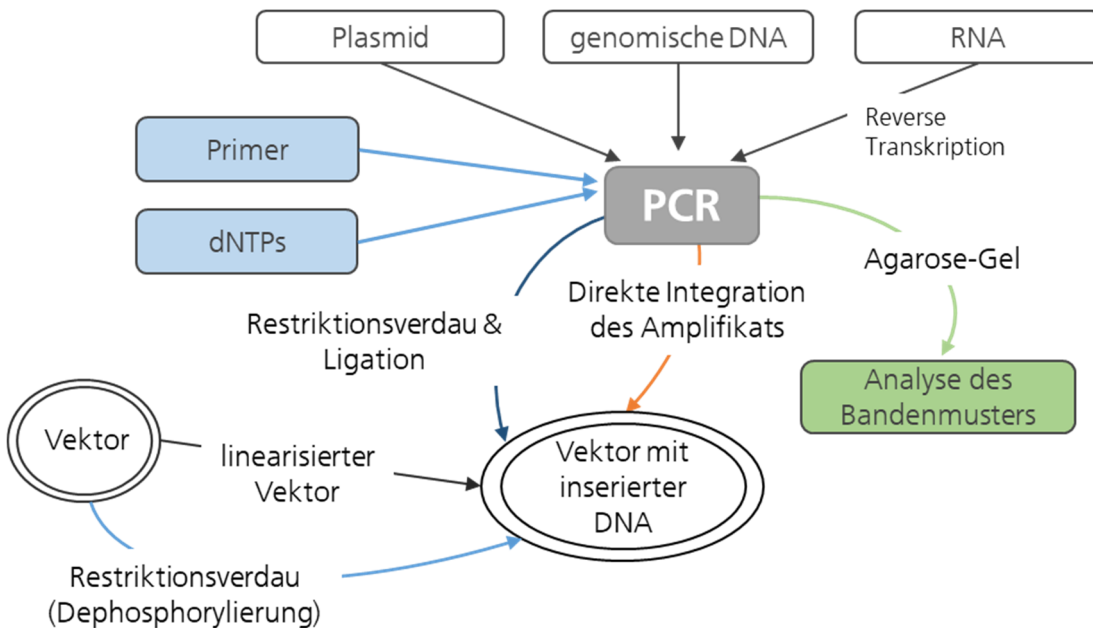


Abbildung 21: Polymerase-Kettenreaktion und ihre wichtigsten Anwendungen¹³⁰

Die Methode Polymerase-Kettenreaktion wurde 1987 von Kary B. Mullis entwickelt und hat die Molekularbiologie bis heute revolutioniert. Mit der Methode lassen sich unzählige DNA Kopien in vitro herstellen.¹³¹ Dadurch können auch ursprünglich geringe Mengen DNA schnell analysiert werden. In der molekularen Diagnostik wird die PCR für zahlreiche Anwendungen genutzt, bspw. für die Identifizierung von Bakterien und Viren. Weitere typische Anwendungen sind die Forensik und Lebensmittelanalytik. Es gibt zahlreiche Varianten der PCR. Nachfolgend wird die Standardmethode beschrieben.

Für die Durchführung einer PCR ist lediglich ein elektrisches Laborgerät notwendig – der Thermocycler. Sein Arbeitsprinzip sind zyklisch arbeitende Thermoelemente, die relativ schnell ihren Temperaturbereich ändern können. Thermocycler stehen üblicherweise auf einer Laborbank im experimentellen Kernbereich. Die Mischung der notwendigen Komponenten sowie die Befül-

¹³⁰ Reinard (2018), S. 84

¹³¹ Ebenda. Theoretisch werden von einem DNA-Strang in 30 Zyklen $2^{30} = 1.073.741.824$ Kopien erstellt.

lung der Reaktionsgefäße finden mittels Pipettieren statt. In Abbildung 21 sind typische Komponenten für eine PCR aufgeführt. Für die Synthese werden die Ausgangs-DNA, thermostabile DNA-Polymerasen sowie ein weiteres Substrat in Form von Desoxynukleotiden (dNTPs) benötigt. Zum Start des Syntheseprozesses werden Primer benötigt. Ein Primer bezeichnet ein Oligonukleotid, welches als Startpunkt für DNA-replizierende Enzyme wie die DNA-Polymerase dient. Eine typische PCR benötigt 20-30 Zyklen mit den Temperaturbereichen 95 und 72°C sowie 8°C zum Abkühlen der Probe. Die vervielfältigte DNA nach Beendigung der PCR wird Amplifikat genannt. Die DNA kann nun mittels eines Vektors in andere Zellen (bspw. Hefe) übertragen werden, um damit weitere Versuche durchzuführen. Die DNA im Amplifikat kann bspw. auch mittels einer Agarose-Gelelektrophorese im Rahmen einer virologischen Diagnostik untersucht werden.¹³²

2.6 Untersuchungen zur Tätigkeitsverteilung in Laborumgebungen

Die nachfolgenden Aussagen zur zeitlichen und räumlichen Tätigkeitsverteilung in der Laborumgebung beruhen auf zwei schriftlichen Befragungen von Mitarbeitenden in der Forschung der Lebenswissenschaften. Die zwei Studien sind dabei in einem zeitlichen Abstand von rund 13 Jahren durchgeführt worden und geben jeweils den Stand für die Jahre 2007 und 2020 wieder.¹³³ Zur ersten Studie sind seinerzeit Gesamtergebnisse veröffentlicht worden.¹³⁴ Für den Vergleich hier sind die Daten aus 2007 zum Teil neu ausgewertet worden, um Gruppenleitende/Abteilungsleitende herauszufiltern, da hier oftmals kein spezifischer Laborfokus mit nass-präparativen Tätigkeiten vorliegt. Dies war unter anderem eine Erkenntnis der ersten Studie.

Die Studie von 2007 war Ausgangspunkt, um eine erste Einschätzung zur Tätigkeitsverteilung in der lebenswissenschaftlichen Laborumgebung zu erhalten. Die Studie von 2020 zeigt im

¹³² Vgl. Reinard (2018), S. 84-95

¹³³ Größe der Stichproben: 2007, n=63; 2020, n=74. Weitere Informationen zu den Stichproben sowie das verwendete Fragenset befinden sich im Anhang.

¹³⁴ Vgl. Castor (2007), S. 39; Castor (2008), S. 26. Eine vorangegangene US-Studie zur zeitlichen Tätigkeitsverteilung im Rahmen allgemeiner laborbezogener Forschung kam zu ähnlichen Ergebnissen. Vgl. Higginbotham (2004), S. 7

Vergleich mit der Studie von 2007 Veränderungen von Laborarbeit auf, die sich bspw. in einer zunehmenden Informatisierung sowie einem veränderten Kommunikationsverhalten zeigen. Folgende Ergebnisse der beiden Studien werden in den nächsten Abschnitten verglichen:

- Zeitliche Tätigkeitsverteilung,
- Räumliche Tätigkeitsverteilung,
- Veränderung von Teamarbeit,
- Nutzeranforderungen an die Laborumgebung (vgl. Abschnitt 2.7).

2.6.1 Zeitliche Tätigkeitsverteilung

Wie in Abbildung 22 dargestellt, umfassen nass-präparative Tätigkeiten einen prozentualen Anteil von rund einem Drittel an allen erhobenen Tätigkeiten der Studien. Im Vergleich ist festzustellen, dass sich eine seit der Jahrtausendwende prognostizierte Verringerung von nass-präparativen Tätigkeiten an der Laborbank im Rahmen der beiden Studien nicht nachweisen lässt.¹³⁵

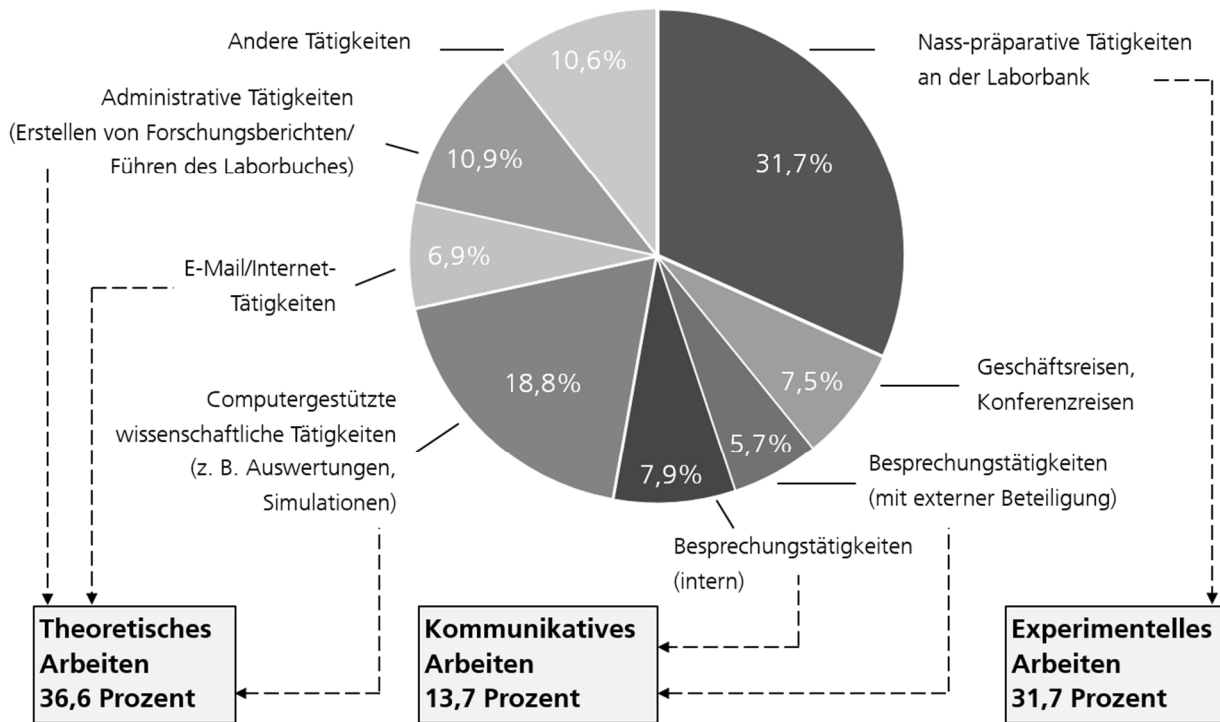
Eine deutliche Veränderung ist in den Anteilen an Tätigkeiten des theoretischen Arbeitens festzustellen. Theoretisches Arbeiten in Laborumgebungen der Lebenswissenschaften hat deutlich zugenommen. Der steigende Anteil an theoretischem Arbeiten ist insbesondere durch IT-gestützte Tätigkeiten geprägt, wie in Abbildung 23 (links) dargestellt. Besonders gestiegen sind die Anteile an E-Mail/Internettätigkeiten sowie computergestützte wissenschaftlichen Tätigkeiten. Dies hängt zum einen mit besseren Veröffentlichungs- und Recherchemöglichkeiten im Internet zusammen¹³⁶, zum anderen mit dem verstärkten Einzug von forschungsspezifischer Soft- und Hardware in der Laborarbeit. In den Lebenswissenschaften wird sich neben der Hypothesen-getriebenen Forschung die datengestützte Forschung mit entsprechenden (algorithmischen) Analysen weiter etablieren (vgl. Abschnitt 2.8.1).¹³⁷

¹³⁵ Vgl. Hegger (2005), S. 28 ff.

¹³⁶ Vgl. Reinard (2010), S. 9

¹³⁷ Vgl. Sigrist et al. (2016), S. 33; Spath et al. (2007), S. 8

Studie 2007



Studie 2020

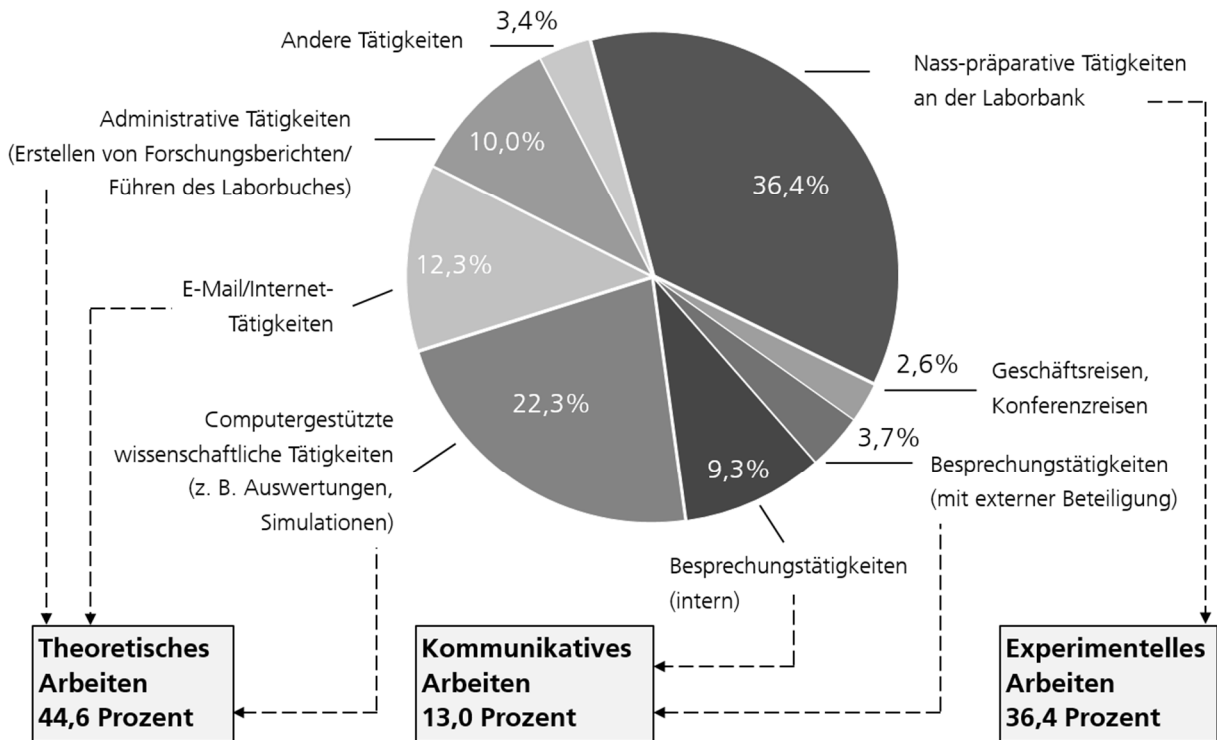
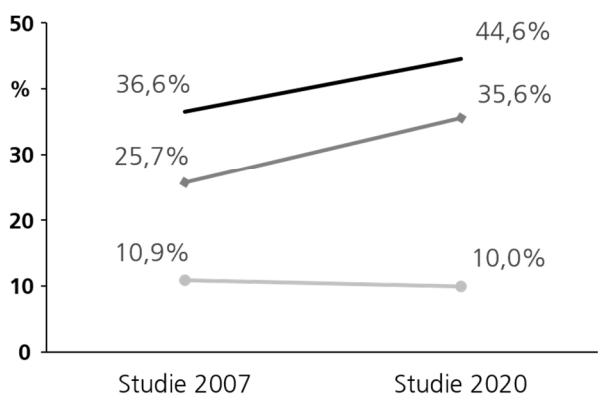


Abbildung 22: Zeitliche Tätigkeitsverteilung und Tätigkeitsbündel – Studie 2007 und 2020

Die Anteile kommunikativen Arbeitens haben sich über die Jahre wenig verändert. Im Gesamtanteil von 13-14 Prozent der erhobenen Besprechungstätigkeiten zeigt sich allerdings eine Übereinstimmung zu anderen Studien mit dem Schwerpunkt wissensintensiver Arbeit ohne Laborbezug. So weist Rief einen Besprechungsanteil von rund 13 Prozent an der Arbeitszeit von Wissensarbeitern ohne Führungsverantwortung nach.¹³⁸

Interessant in der Betrachtung kommunikativer Arbeiten ist die Veränderung zwischen Besprechungstätigkeiten mit externer Beteiligung, den internen Besprechungen sowie Geschäfts- und Konferenzreisen. Obwohl sich der Anteil an kommunikativem Arbeiten insgesamt kaum verändert hat, ist der Anteil an Besprechungen mit externer Beteiligung sowie der Anteil an Reisetätigkeit gesunken, während der Anteil an Besprechungen mit internen Teilnehmenden zugenommen hat. Hier lässt sich annehmen, dass die zunehmende Computernutzung inkl. E-Mail und Internet, Reise- und externe Besuchsbedarfe substituiert hat (vgl. Abbildung 23). Gleichzeitig deutet die verstärkte interne Besprechungstätigkeit auch auf bessere (räumliche) Möglichkeiten hin, diese durchzuführen (vgl. Abbildung 26).

Theoretisches Arbeiten



- Theoretisches Arbeiten
- ◆ IT-gestützte Tätigkeiten (E-Mail/Internet-Tätigkeiten; computergestützte wissenschaftliche Tätigkeiten)
- Administrative Tätigkeiten

Kommunikatives Arbeiten / Reisetätigkeit



- Kommunikatives Arbeiten
- ◆ Interne Besprechungstätigkeiten
- Geschäftsreisen, Konferenzreisen
- - - Besprechungstätigkeiten (mit externer Beteiligung)

Abbildung 23: Veränderungen bei theoretischem und kommunikativem Arbeiten

¹³⁸ Vgl. Rief (2015), S. 43

2.6.2 Räumliche Tätigkeitsverteilung

Wichtigste Erkenntnis aus dem Vergleich der beiden Studien ist die Veränderung der Tätigkeitsorte für theoretisches Arbeiten (vgl. Abbildungen 25/27 links). Hier sind deutlich weniger Tätigkeiten an Orten zu verzeichnen, die keine originäre Bestimmung für theoretisches Arbeiten haben wie bspw. die Laborbank oder Besprechungsräume. Das bedeutet, dass diese Tätigkeiten nun deutlich fokussierter an dafür vorgesehenen Orten stattfinden. Betrachtet man dazu die Angaben der Studienteilnehmer zum Gebäudealter, so sind rund 60 Prozent der Forschungsgebäude in der Studie 2020 jünger als 20 Jahre. Es ist anzunehmen, dass nach der Jahrtausendwende zunehmend Forschungsgebäude mit aufgewerteten und bildschirmtauglichen Schreibplätzen in der Laborumgebung erstellt wurden, um der zunehmenden Computernutzung zu begegnen (vgl. Abbildung 24). Die meisten Forschungsgebäude der Studienteilnehmer 2007 sind in den neunziger Jahren des vorigen Jahrhunderts gebaut worden. In diesen Jahren wurden zumeist noch einfache Schreib- und Auswertepplätze direkt im Labor erstellt, die für Bildschirmarbeit nicht vorgesehen waren. Dies und ein genereller Mangel an Schreibplätzen, könnte zu einer allmählichen Tätigkeitsverlagerung an andere Arbeitsorte geführt haben.¹³⁹

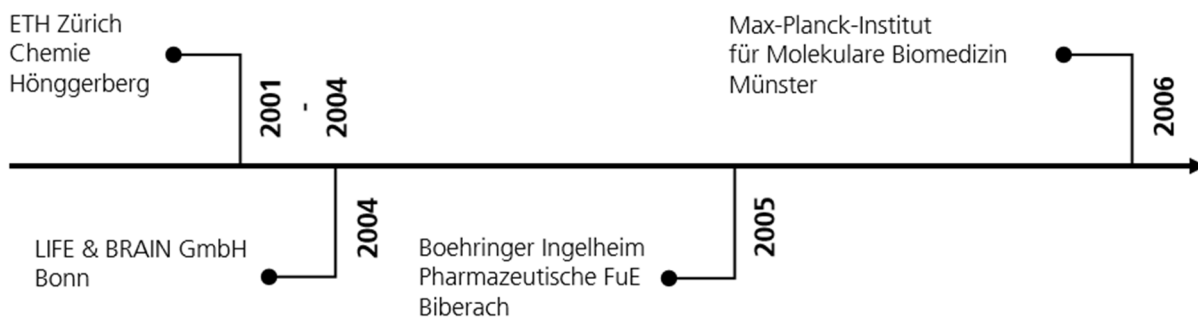
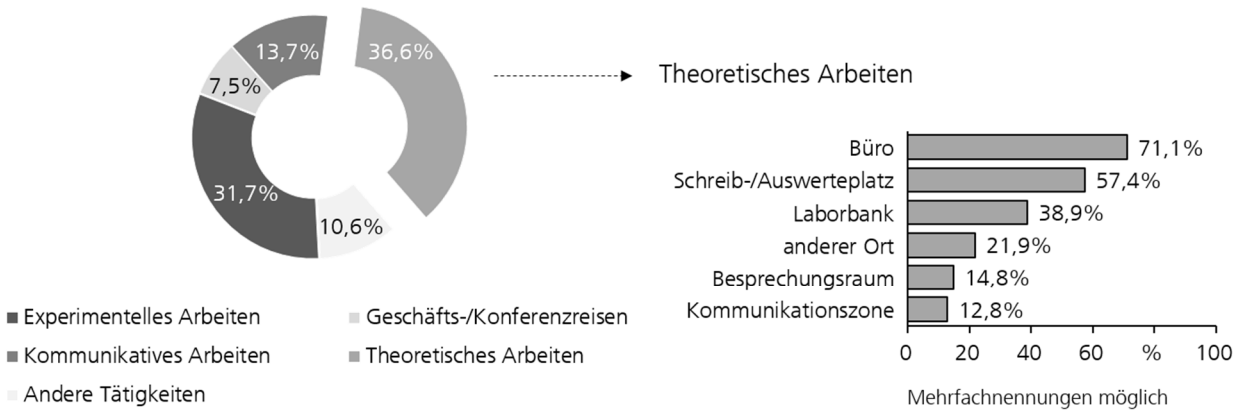


Abbildung 24: Beispiele für Laborgebäude mit aufgewerteten Schreibplätzen 2001 – 2006

¹³⁹ Informationen zum Gebäudealter der Teilnehmenden beider Studien finden sich im Anhang.

Studie 2007



Studie 2020

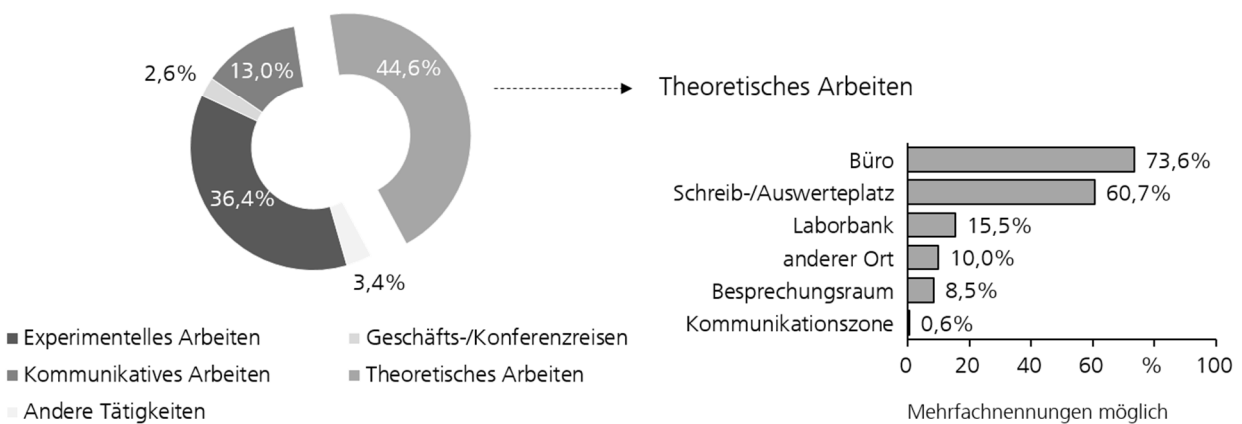
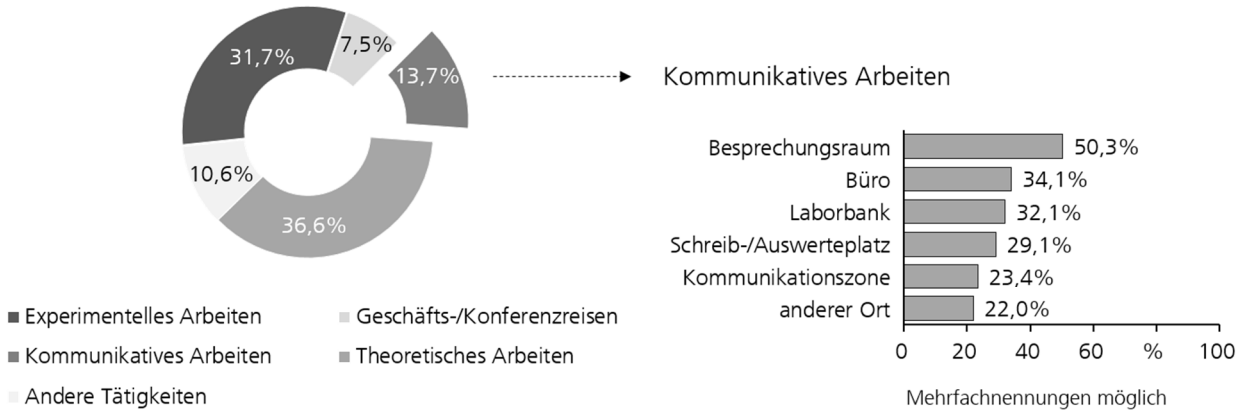


Abbildung 25: Orte für theoretisches Arbeiten – Studie 2007 und 2020

Die Ergebnisse der Studien hinsichtlich der Orte für kommunikatives Arbeiten (vgl. Abbildungen 26/27) weisen Ähnlichkeiten zu den Ergebnissen bezogen auf theoretisches Arbeiten auf. Auch hier zeigt sich eine Veränderung hin zu Orten, die originär für kommunikatives Arbeiten vorgesehen sind (Besprechungsraum, Kommunikationszone). Auch hier ist anzunehmen, dass solche Orte vermehrt geplant und umgesetzt wurden in Forschungsgebäuden für die Lebenswissenschaften. Zum anderen ist anzunehmen, dass es durch das bessere Angebot an Orten für theoretisches und kommunikatives Arbeiten keine oder weniger »Verdrängung« von Tätigkeiten an nicht dafür vorgesehene Orte gibt. So weist die Studie von 2007 deutlich höhere Anteile von theoretischem Arbeiten an der Laborbank sowie in Besprechungsräumen oder Kommunikationszonen gegenüber der Studie 2020 auf – Orte die für experimentelles und kommunikatives Arbeiten vorgesehen sind. Kommunikatives Arbeiten findet 2020 deutlich mehr in Besprechungsräumen und Kommunikationszonen statt – Orte, die originär für kommunikatives Arbeiten bestimmt sind.

Studie 2007



Studie 2020

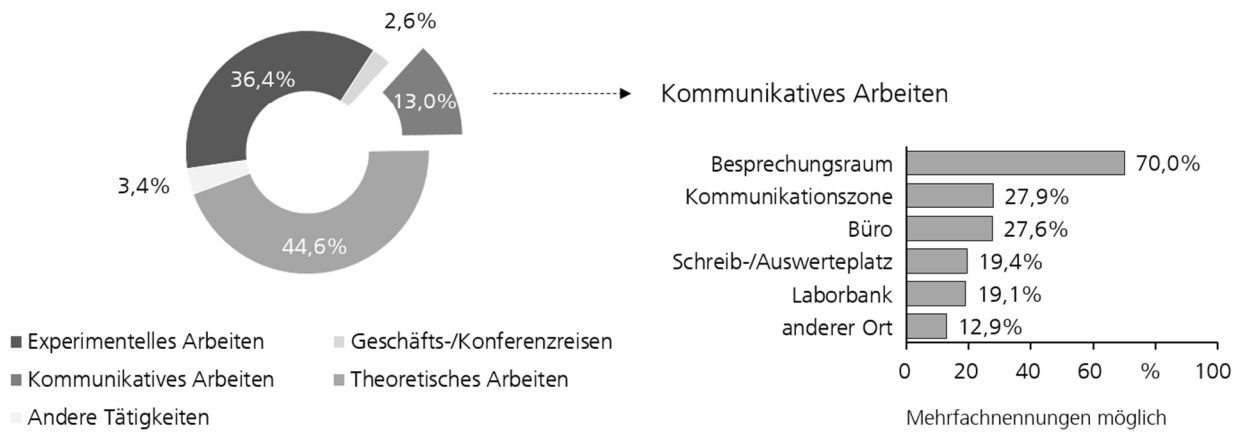


Abbildung 26: Orte für kommunikatives Arbeiten – Studie 2007 und 2020

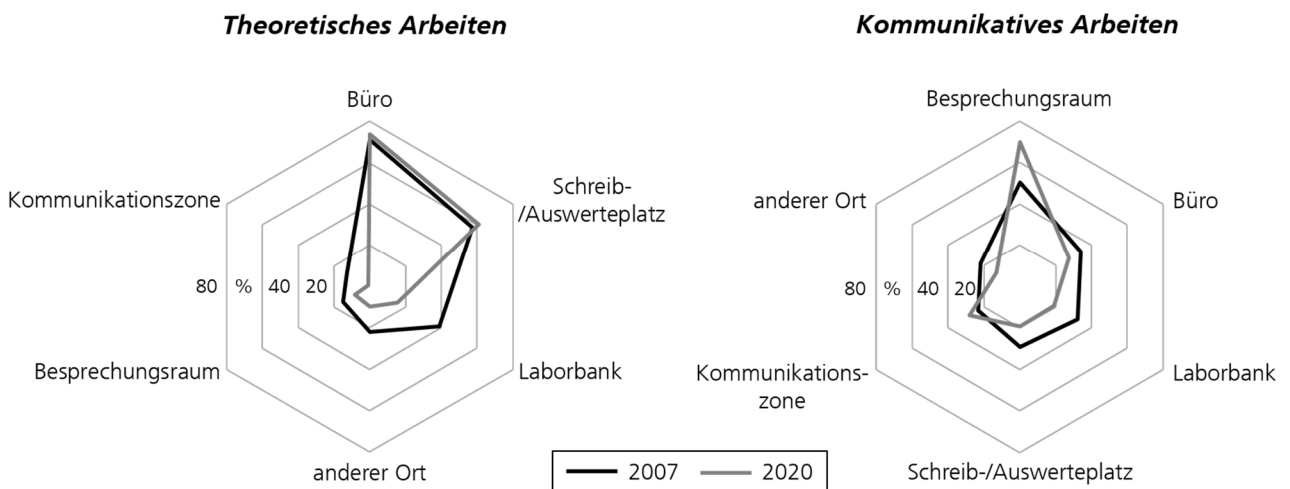


Abbildung 27: Veränderungen der Orte für theoretisches und kommunikatives Arbeiten – Studie 2007 und 2020

2.6.3 Veränderung der Teamarbeit von Forschungsgruppen der Lebenswissenschaften

In Abschnitt 2.6.1 wird auf den erhöhten Anteil an internen Besprechungen in Laborumgebungen hingewiesen. Dieser Anteil ist ein Hinweis auf mehr Kommunikation und Zusammenarbeit in der lebenswissenschaftlichen Forschung. Dies ist ein langjähriger Trend, der hier ähnlich wie in anderen Arbeitsbereichen festzustellen ist, etwa für die Produktions- oder Büroarbeit.¹⁴⁰

Interessant in dem Thema ist die Einschätzung des forschenden Personals zu Teamarbeit direkt. Nach wie vor wird von einer Zunahme ausgegangen, auch wenn die Einschätzung dazu 2007 noch etwas verhaltener war. Während 2007 die größte Zunahme für die Zusammenarbeit mit verschiedenen wissenschaftlichen Disziplinen erwartete wurde, ist es laut der aktuellen Studie die abteilungsübergreifende Zusammenarbeit, die in den nächsten fünf Jahren die größte Zunahme zu verzeichnen hat. Geradezu verhalten ist die Einschätzung zur Veränderung der Zusammenarbeit mit anderen wissenschaftlichen Disziplinen im Vergleich zur Studie 2007. Hier kann über die Gründe nur spekuliert werden. Es kann sein, dass inter- und multidisziplinäre Zusammenarbeit in den Lebenswissenschaften schon so normal ist, dass bspw. Bioinformatiker, Ingenieure oder andere Expertinnen und Experten im Labor nicht mehr so »speziell« wahr genommen werden. Die abteilungsübergreifende Zusammenarbeit hingegen, die ebenfalls durch andere wissenschaftliche Disziplinen gekennzeichnet sein kann, überwiegt möglicherweise in der Wahrnehmung auf Grund der häufig noch räumlich getrennten Anordnung von Forschungsgruppen.

¹⁴⁰ Vgl. Spath (2009), S.8; Levi/Slem (1995), S. 29; Oeschger (2015), S. 30; Thompson (2007), S. 15; Hollaender (2003), S. 1 f.; Castor (2006a), S. 2 ff.

Frage: Wie schätzen Sie die Veränderung der Anteile an Teamarbeit in den nächsten 5 Jahren ein?

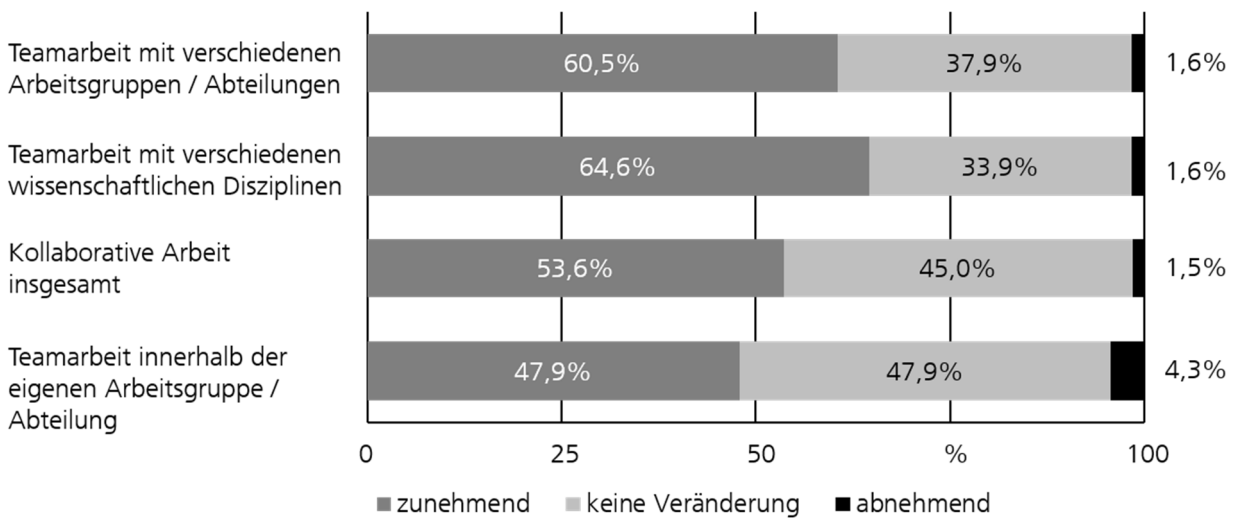


Abbildung 28: Einschätzung zur Veränderung von Teamarbeit – Studie 2007

Den Aussagen der aktuellen Studie zu internen Besprechungen und die Einschätzung nach mehr Zusammenarbeit in den nächsten Jahren scheint eine ähnliche Wahrnehmung des Forschungspersonals zu Grunde zu liegen. Dahinter mag sich durchaus der gestalterische Hinweis verbergen, mehr Orte des Austausches in oder bei Laborumgebungen vorzusehen.

Frage: Wie schätzen Sie die Veränderung der Anteile an Teamarbeit in den nächsten 5 Jahren ein?

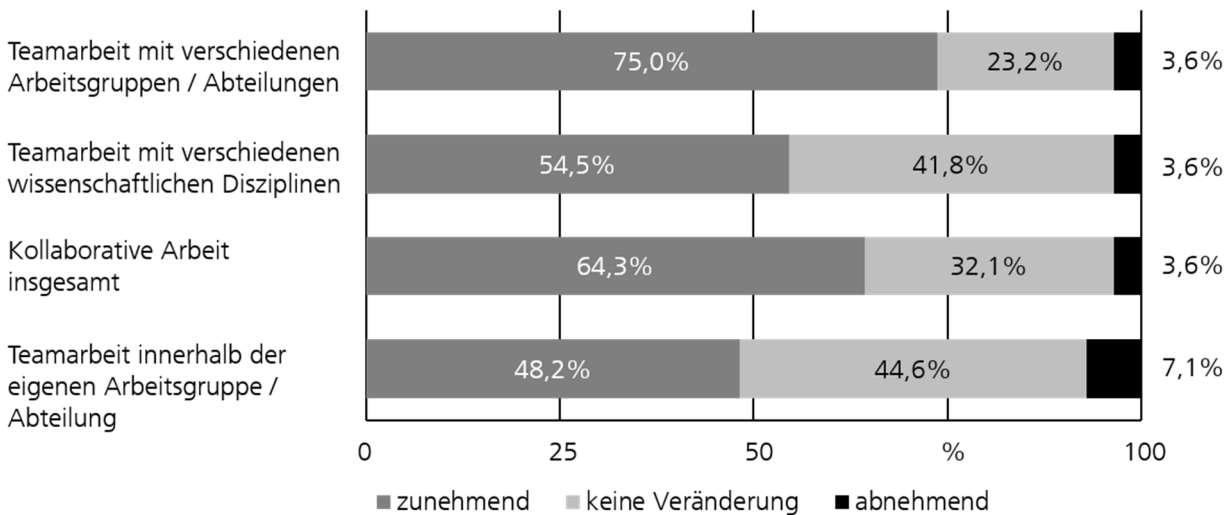


Abbildung 29: Einschätzung zur Veränderung von Teamarbeit – Studie 2020

2.7 Anforderungen an die Ausstattung von Laborumgebungen

Frage: In welchen Bereichen sehen Sie Verbesserungspotenzial in der Laborumgebung?

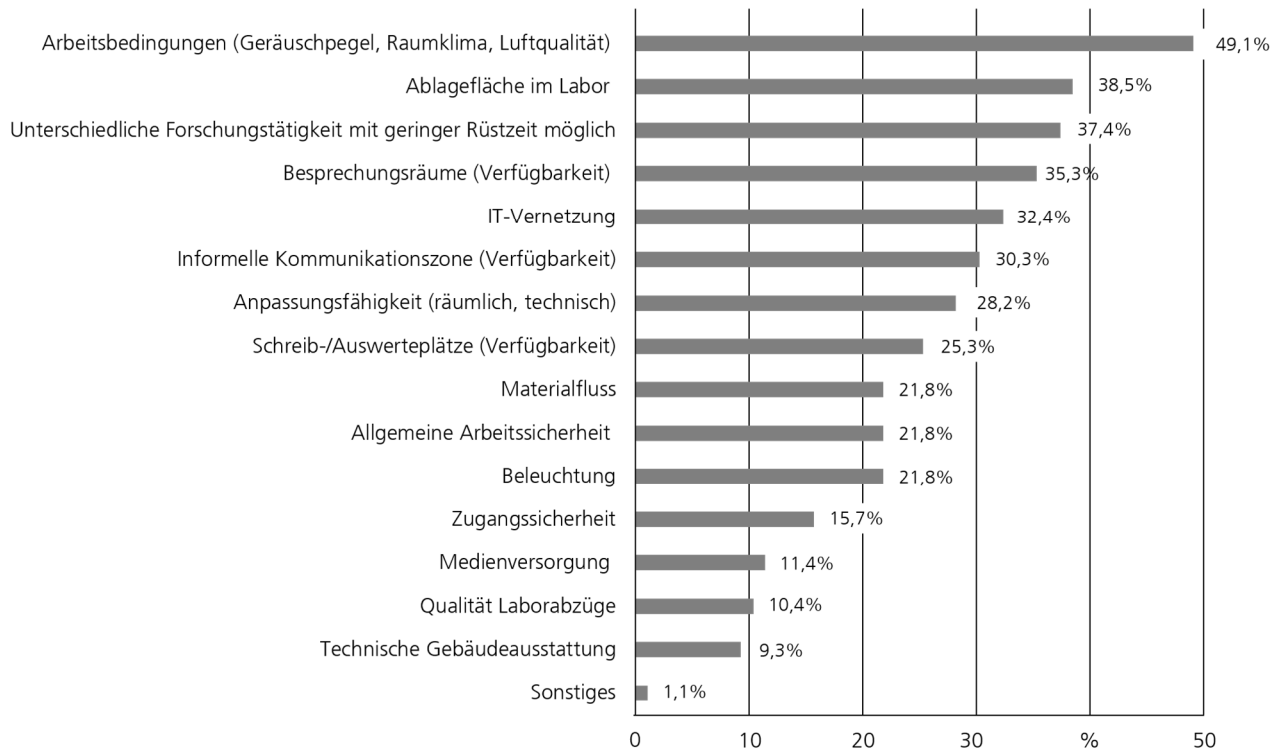


Abbildung 30: Verbesserungspotenziale in der Laborumgebung – Studie 2007

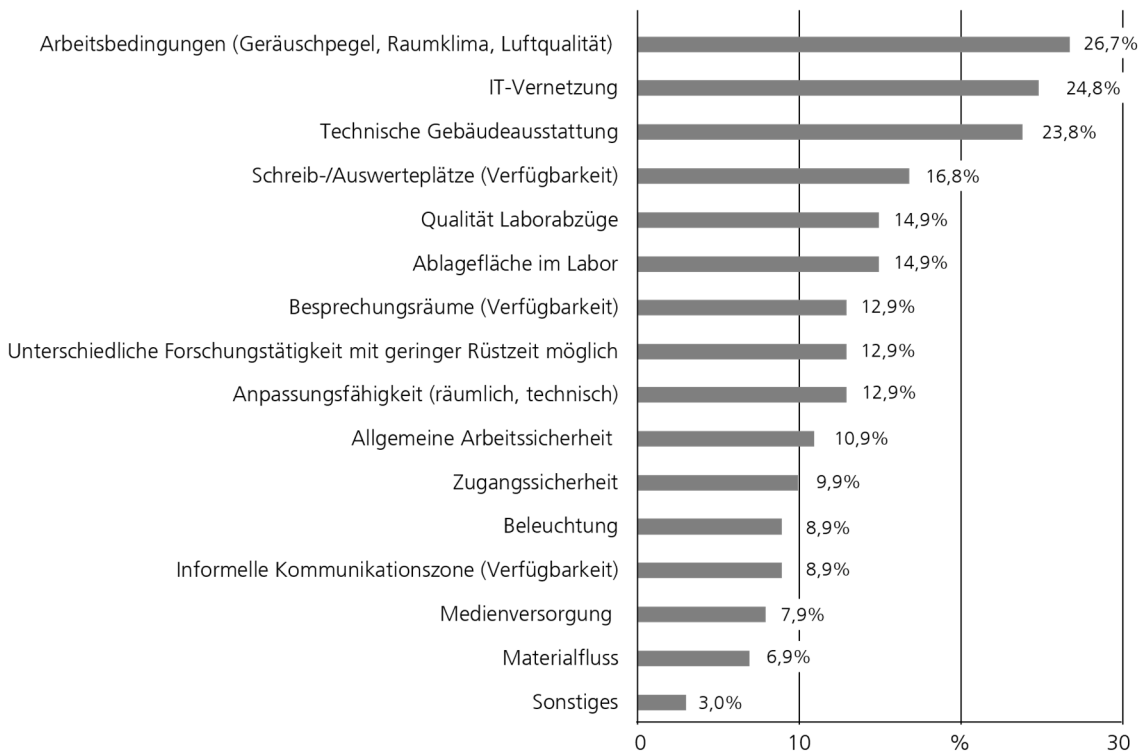


Abbildung 31: Verbesserungspotenziale in der Laborumgebung – Studie 2020

Neben Fragen zur zeitlichen und räumlichen Tätigkeitsverteilung sind in beiden Studien Fragen zu Verbesserungspotenzialen für die Ausstattung und Gestaltung von Laborumgebungen gestellt worden. Hier nannten die Forscher als bedeutendstes Thema in beiden Befragungen die raumklimatischen Arbeitsbedingungen inkl. Geräuschpegel. Besprechungsräume und Kommunikationszonen schienen 2007 noch etwas weniger verfügbar zu sein. IT-Vernetzung war 2007 schon ein wichtiges Thema, allerdings nicht so bedeutend im Ranking wie in der Studie 2020. Die Nennungen zur technischen Gebäudeausstattung hat die größte Spreizung in beiden Studien. Hier kann die vermehrte Computer- und Geräteanwendung im Labor 2020 eine Rolle spielen. Möglicherweise ist dadurch auch der Wärmeeintrag ins Labor höher, was auch in die Bewertung der technischen Gebäudeausstattung eingeflossen sein könnte.

Die Verfügbarkeit von Schreib-/Auswertepätzen ist ähnlich gerankt in beiden Studien. 2020 scheinen der Bedarf bzw. der Mangel trotz einer wahrscheinlich vermehrten Umsetzung dieser Arbeitsplätze etwas größer zu sein als 2007 im Vergleich zu anderen Themen. Hier kann zum einen der Anteil an theoretischem Arbeiten den Bedarf an Schreib-/Auswertepätzen in den letzten Jahren deutlich erhöht haben. Zum anderen ist denkbar, dass das vermehrte Angebot an aufgewerteten Schreibplätzen ihre absolute Anzahl in Bezug zum Laborraster verringert hat, da man weniger Plätze dafür auf der Fläche ansiedeln kann. Dass Themen wie die Verfügbarkeit von Schreib-/Auswertepätzen und Besprechungsräumen immer noch relativ weit vorne im Ranking landen, deutet darauf hin, dass diese von der Anzahl, Anordnung oder Raumgröße her, nicht optimal geplant und umgesetzt werden.

Zuletzt ist im Rahmen der vergleichenden Betrachtung beider Studien interessant, wie die Einschätzung bezüglich einer Verbesserung der Nutzungsflexibilität von Laborumgebungen ist. Sowohl der Bedarf an geringen Rüstzeiten bei veränderter Forschungstätigkeit als auch die räumlich-technische Anpassungsfähigkeit haben zahlreiche Nennungen in beiden Studien erhalten. Während Rüstzeiten eher kurzfristig den Einsatz anderer Methoden im Labor unterstützen, geht es bei der räumlich-technischen Anpassungsfähigkeit um weiterreichende Flexibilität in der Gestaltung von Laborumgebungen und Forschungsgebäuden. Auch bei diesem Thema scheint es keine optimale Planung in der Breite zu geben.

2.8 Entwicklungen in der Laborarbeit und räumliche Auswirkungen

Aktuelle Literatur zu Laborarbeit und -gestaltung ist durch zahlreiche praxisbezogene Publikationen geprägt. Die Literaturrecherche zur vorliegenden Arbeit zeigte dabei einen Schwerpunkt hinsichtlich Veröffentlichungen zu technischen Möglichkeiten und Lösungen im Labor auf. In den Veröffentlichungen werden weniger kausale Theorien, Modelle oder Szenarios als Grundlage benutzt, sondern der gegenwärtige Zustand beschrieben, manchmal interpretiert und zum Teil extrapoliert. Zumeist handelt es sich um die anwendungsbezogene Beschreibung von Systemen, Technologien und Anwendungen und deren möglicher Effekte bzw. Vorteile für die Arbeit im Labor.

Veröffentlichungen zu Entwicklungen in der Laborarbeit und Laborgestaltung sind rar. Im Folgenden werden dazu ein paar Publikationen näher betrachtet. Die Veröffentlichungen von Sigrist et al. und Hegger, sind die einzigen, die sich ausschließlich mit ganzheitlichen Entwicklungen und Szenarios zur zukünftigen Arbeit im Labor und seiner Gestaltung beschäftigen. Zusammenhänge zwischen den Entwicklungen und räumlichen Auswirkungen sind in den drei Veröffentlichungen in Tabelle 2 enthalten, wobei Sigrist et al. und Kuchenbecker Modelle der räumlichen Entwicklung etwas detaillierter beschreiben. Im Rahmen der Sichtung der Publikationen zu Entwicklungen der Laborarbeit konnten sieben Entwicklungspfade für die Laborarbeit und -gestaltung unterschieden werden. Technik, Arbeitsorganisation, Methodik, Regularien, Gesellschaft, Wirtschaftlichkeit sowie Nachhaltigkeit. Nachfolgend werden die wichtigsten Pfade genauer beschrieben und durch aktuelle Veröffentlichungen zu Einzelthemen, wie sie im Rahmen der Literaturrecherche identifiziert wurden, ergänzt. Fokussiert werden insbesondere der Pfad »Technik« sowie die Beschreibung räumlicher Auswirkungen.

Entwicklungen in der Laborarbeit

Themengebiete	Sigrist et al. (2016)	Kuchenbecker (2008)	Hegger (2005)
Technik	•	•	•
Arbeitsorganisation	•	•	•
Methodik	•	•	•
Regularien		•	
Gesellschaft	•	•	
Wirtschaftlichkeit		•	•
Nachhaltigkeit	•		•
Beschreibung räumlicher Auswirkungen	•	•	•

Tabelle 2: Themengebiete zu Entwicklungen in der Laborarbeit

Auf Labore der lebenswissenschaftlichen Forschung und ihre Gebäude haben einige der Entwicklungen in den oben genannten Themengebieten einen klaren Einfluss (vgl. Tabelle 2). Hier seien an dieser Stelle die Themen **Nachhaltigkeit** und **Wirtschaftlichkeit** in Hinblick auf Erstellungs- und Betriebskosten genannt, auf die später im Text nicht näher eingegangen wird. Der Einfluss der anderen Themengebiete auf Laborarbeit und -gestaltung ist in unterschiedlicher Ausprägung gegeben. Hinsichtlich der Änderungen von **Regularien** war vor einigen Jahren die Annahme gängig, dass es weniger Schutzmaßnahmen im Labor geben wird, weil Versuche zunehmend miniaturisiert und gekapselt werden. Bis heute sind allerdings für FuE-Labore der Lebenswissenschaften keine signifikant veränderten Regularien festzustellen. Ausführungen zu den weiteren Themengebieten finden sich auf den folgenden Seiten.

2.8.1 Technik

Themengebiete der technischen Entwicklungen

Autor / Jahr	Automatisierung	Miniaturisierung	Vernetzung	Steuerung	Informatisierung
Austerjost et al. (2018)				•	
Brendel/Kraus (2019)			•	•	•
Daxer/Traube (2017)	•				•
Endres et al. (2016)	•		•	•	
Hauer (2015)			•		
Hegger (2005)	•	•	•		
Ken-En Gan/Poon (2016)		•	•		•
Kuchenbecker (2008)	•	•	•	•	
Liu et al. (2012)	•			•	
Ochs et al. (2018)	•				
Porr et al. (2019)		•	•		•
Schäfer (2018)			•		•
Sigrist et al. (2016)	•	•			•
Thurow/Fleischer (2018)	•				
Wang et al. (2018)				•	•
Zupanic (2016)					•

Tabelle 3: Technische Entwicklungen – Themengebiete

Automatisierung, Vernetzung und Informatisierung sind auch in der Laborarbeit wesentliche Entwicklungstrends. Im Gegensatz zum Begriff »Industrie 4.0« für die vernetzte, (teil-)autonome Produktionsarbeit¹⁴¹, wird der kongruente Begriff »Labor 4.0« aber erst seit kurzem in der Fachwelt verwendet. In entsprechenden Fachveröffentlichungen findet man diesen Begriff derzeit noch selten. Die Beschreibungen der technischen Entwicklungen in den Veröffentlichungen dazu, unterscheiden sich in der fachlichen Tiefe zum Teil deutlich. In Tabelle 3 geht es um eine Veröffentlichungsübersicht. Eine solche lässt sich in diesem Umfang nur für das Themengebiet »Technik« bzw. die Technisierung von Laborarbeit erstellen.

Technisierung steht hier für einen systematischen Gebrauch von Hilfsmitteln zur Arbeitserleichterung.¹⁴² Das bedeutet, dass technische Entwicklungen, die bspw. die technische Gebäudeausstattung betreffen (wie etwa Lüftungstechnik), im Vorfeld ausgeklammert wurden.

Ein wichtiger Entwicklungspfad hinsichtlich der Veränderung bei Experimenten und Laborgeräten ist die **Miniaturisierung**.¹⁴³ Sie wird als »eine schöpferische Handlung zur Verkleinerung von Strukturen unter Beibehaltung des Prozesses und der Wirksamkeit und unter Umständen auch der Form«¹⁴⁴ beschrieben. Dabei ermöglicht die technische Miniaturisierung bspw. durch Nanotechnik und Mikrofluidik kontrollierte chemische und biologische Reaktionen auf kleinstem Raum, was ebenso die Verkleinerung von Laborgeräten bewirkt.¹⁴⁵

Gleichzeitig gibt es einen gegenteiligen Trend zum Einsatz von mehr Großgerätetechnik, sowie eine Entwicklung hin zum instrumentell-analytischen Labor, welches als reines Gerätelabor ausgeführt ist. Auch aus anderen Bereichen bekannte Geräte finden Einzug ins Labor. So wird bspw. zunehmend 3D-Druck zur Herstellung individualisierter Biomaterialien verwendet.¹⁴⁶

¹⁴¹ Vgl. Spath (2013), S. 22

¹⁴² Vgl. Kuchenbecker (2008), S. 34 f.

¹⁴³ Vgl. Sigrist et al. (2016), S. 28; Kuchenbecker (2008), S. 35 f.; Hegger (2005), S. 29

¹⁴⁴ Kuchenbecker (2008), S. 35

¹⁴⁵ Ebenda; vgl. Hegger (2005), S. 29

¹⁴⁶ Vgl. Porr et al. (2019), S. 285

Die **Automatisierung** der Laborarbeit ist ebenfalls ein bedeutender Entwicklungspfad.¹⁴⁷ Durch Roboter – mittlerweile auch im Labor in Dual-Arm Ausführung vorkommend – können Experimente ähnlich wie von einem Menschen durchgeführt werden.¹⁴⁸ Ein weiteres Beispiel für eine robotergestützte – vollautomatisierte – Laboranwendung sind Testumgebungen zur Kultivierung von Zellen, bspw. für die Stammzellenforschung.¹⁴⁹ Die Automatisierung von Laborprozessen kann darüber hinaus Sicherheitsaspekten dienen: Robotik gewährleistet einen besseren Schutz im Labor. Dadurch sind weniger unmittelbare Kontaktmöglichkeiten der dort tätigen Menschen mit gefährlichen Stoffen gegeben. Gleichzeitig werden durch die Automatisierung menschliche Fehler bei repetitiven Tätigkeiten im Labor vermieden.¹⁵⁰ Die mit der Automatisierung von Laborarbeit einhergehenden Datenmengen, sorgen, bei optimaler Einbindung in Datensysteme, für eine bessere Mess- und Vergleichbarkeit der Qualität von Laborprozessen.¹⁵¹

Die **Informatisierung** von Laborarbeit macht einen weiteren technischen Entwicklungspfad aus. Sie beschreibt die vollständige Durchdringung der Labororganisation mit Informations- und Kommunikationstechnologien. Dabei unterstützt die Digitalisierung die (automatisierte) Erfassung, Speicherung und Übertragung bspw. von Mess- und Versuchsprotokollen im Labor. Dies vereinfacht die Auswertung und verhindert Fehl- und Mehrfachmessungen bei ähnlichen oder gleichen Experimenten. Eine umfängliche Geräte- und Netzwerkintegration unterstützt ebenso intelligentes Datenmanagement im Labor.¹⁵² So können eine Laborwaage oder ein Spektralphotometer automatisch Proben erkennen, erfassen und Messparameter und -ergebnisse digital dokumentieren. Damit ist nicht nur eine automatisierte Erzeugung von Versuchsprotokollen möglich. Sensoren von Analysegeräten können ebenso automatisch angesteuert werden und somit intelligent agieren.¹⁵³ Die Vernetzungsmöglichkeiten sind nicht

¹⁴⁷ Vgl. Sigrist et al. (2016), S. 31 f.; Hegger (2005), S. 29; Liu et al. (2012), S. 1

¹⁴⁸ Vgl. Endres et al. (2016), S. 429; Thurow/Fleischer (2018)

¹⁴⁹ Vgl. Ochs et al. (2018), S. 24

¹⁵⁰ Vgl. Brendel/Kraus (2019), S. 35; Ochs et al. (2018), S. 24

¹⁵¹ Vgl. Daxer/Traube (2017), S. 17, 19

¹⁵² Vgl. Brendel/Kraus (2019), S. 35; Hauer (2017)

¹⁵³ Vgl. Hauer (2015); Zupanic (2016), S. 35; Daxer/Traube (2017), S. 18 f.; Austerjost et al. (2018), S. 476-478

nur auf ein Labor beschränkt. So werden zukünftig vermehrt disziplinübergreifend vernetzte Labore entstehen, die verteilte und beschleunigte Forschungsprozesse unterstützen.¹⁵⁴

Zur Vernetzung im Labor und zwischen Laboren wird ein universelles Betriebssystem mit offenen Programmierschnittstellen sowie eine Auszeichnungssprache ähnlich der Hypertext Markup Language (HTML) des World Wide Web notwendig.¹⁵⁵ Mögliche Standards dazu sind AnIML¹⁵⁶ und SiLA¹⁵⁷. Open Data Formate zur Planung, Ausführung und Dokumentation von Experimenten und Prozessen können ebenso verwendet werden. Eine Steuerung und Implementierung verschiedener Geräte ist ergänzend dazu auch durch Scripting möglich.¹⁵⁸ In Laboren mit einem hohen Anteil an analytischen Standardprozessen kann die digitale Integration durch ein LIMS oder eine Middleware Prozesssteuerung erfolgen.¹⁵⁹

Webbasierte Laborbücher können als Bindeglied zur digitalen Datenerfassung, -speicherung sowie Koordination im vernetzten Labor genutzt werden.¹⁶⁰ Durch diese Laborbücher werden bei entsprechender Indexierung und (mobiler) Zugriffsmöglichkeit ebenso unnötige Dopplungen von Experimenten verhindert: Die Reproduktion und die Nachvollziehbarkeit des Experiments ist durch die digitale Dokumentation besser gewährleistet.¹⁶¹

Weitere Vorteile der **Informatisierung** ergeben sich aus Simulations- und Animationsverfahren zur Nachahmung von technischen und biochemischen Abläufen.¹⁶² So besteht die Möglichkeit, virtualisierte Prozesse unmittelbar in die Experimentalstrategie einfließen zu lassen und diese vorab virtuell zu testen. Dies hilft dabei Prozessfehler möglichst frühzeitig zu erkennen

¹⁵⁴ Vgl. Sigrist et al. (2016), S. 47

¹⁵⁵ Vgl. Daxer/Traube (2017), S. 18; Porr et al. (2019), S. 286

¹⁵⁶ Analytical Information Markup Language

¹⁵⁷ Standardization in Lab Automation

¹⁵⁸ Vgl. Schäfer (2018); Zupanic (2016), S. 34

¹⁵⁹ Vgl. Porr et al. (2019), S. 286; Brendel/Kraus (2019), S. 35; Hauer (2015).

LIMS = Labor-Informations- und Management-System

¹⁶⁰ Vgl. Endres et al. (2016), S. 428, 430; Porr et al. (2019), S. 286

¹⁶¹ Vgl. Porr et al. (2019), S. 286; Zupanic (2016), S. 34, 36

¹⁶² Vgl. Sigrist et al. (2016), S. 32 f.; Kuchenbecker (2008), S. 32 ff.; Hegger (2005), S.29

und gewährleistet eine schnellere und qualitätsgesichere Ausführung von Experimenten.¹⁶³ Eine weitere Nutzungsmöglichkeit virtualisierter Laborprozesse und -methoden liegt in der Verwendung für die Lehre und Ausbildung.¹⁶⁴ Im nächsten Schritt der **Informatisierung** wird auch die Laborarbeit vermehrt durch Künstliche Intelligenz und Maschinelles Lernen geprägt werden.¹⁶⁵ Aktuell wird Künstliche Intelligenz im Labor bspw. in der Bildanalytik zur Zellsegmentierung oder der Algorithmus-gestützten Identifizierung von fehlerhaft transkribierten Genen angewandt.

Auch die **Steuerung** von Laborgeräten befindet sich in einem Veränderungsprozess. Virtuelle Assistenten und Smart Devices erleichtern den Laboralltag zunehmend. So können bspw. Smartglasses als Schutzbrillen fungieren, die mittels Augmented Reality Sicherheitshinweise zu einem Experiment einblenden, Pipettierreihenfolgen aufzeigen oder Auszählarbeiten übernehmen.¹⁶⁶ Sprachsteuerung unterstützt Laborarbeit, bspw. bei einer photometrischen Messung oder dem Einstellen eines Spektralphotometers auf eine bestimmte Wellenlänge.¹⁶⁷ Ergänzend kann Sprachtechnologie zu einem Experiment Arbeitsanweisungen ausgeben und benötigte Substanzen oder Reaktionsparameter rezitieren.¹⁶⁸

Apps fließen als Steuerungs- und Informationssoftware auf mobilen Geräten wie Smartphones oder Tablet-Computern in den Laboralltag ein. Beispiele für deren Nutzung im Labor sind Apps zur Sequenz-Analyse oder zur Betrachtung der Struktur von Proteinen. Laborrechner sind ebenfalls in App-Form verfügbar, bspw. zur Auszählung von Bakterienkolonien auf Agarplatten sowie als Protokoll-Assistenten. Schließlich können auch Datenbankzugriffe direkt am Gerät im Labor per App erfolgen.¹⁶⁹

¹⁶³ Vgl. Wang et al. (2018), S. 710

¹⁶⁴ Ebenda, S. 704

¹⁶⁵ Vgl. Daxer/Traube (2017), S. 19; Hauer (2017); Schäfer (2018)

¹⁶⁶ Vgl. Austerjost et al. (2018), S. 481; Porr et al. (2019), S. 291

¹⁶⁷ Vgl. Porr et al. (2019), S. 291

¹⁶⁸ Vgl. Austerjost et al. (2018), S. 477 f.

¹⁶⁹ Vgl. Ken-En Gan/Poon (2016), S. 1, 3 ff.; Porr et al. (2019), S. 285

2.8.2 Arbeitsorganisation

Entwicklungspfade der **Arbeitsorganisation** im Labor umfassen eine vermehrte Diversifizierung der Laborarbeit. Die Diversifizierung ist Folge einer zunehmenden Methodenvielfalt und wird u. a. eine vermehrte Multidisziplinarität in der lebenswissenschaftlichen Forschung bewirken. Die Diversifizierung äußert sich in drei Formen: in einer vermehrten – auch globalen – Spezialisierung, also der Aufgliederung von Berufen und Berufsgattungen, in einer höheren Varianz von Laborgeräten sowie in der Dezentralisierung von Laborarbeit.¹⁷⁰ Ökosysteme von Forschern und Forschungsgruppen – auch grenzüberschreitend – werden auf Grund der Diversifizierung entstehen. Ergänzend wird es eine Entwicklung hin zu flacheren Hierarchien in der lebenswissenschaftlichen Forschung geben, um Forschungsprozesse zu beschleunigen.¹⁷¹

2.8.3 Räumliche Auswirkungen der Entwicklungen in der Laborarbeit

Die Vielfalt an Entwicklungen in der lebenswissenschaftlichen Forschung bringt ebenso vielfältige Auswirkungen hinsichtlich der räumlichen Gestaltung von Laborarbeit mit sich. Während die zunehmende Integration von theoretischem Arbeiten im Labor seit einigen Jahren schon verstärkt umgesetzt wird, ist die Konsequenz bei der Dichte oder Reversibilität von Forschungsgebäuden für den Gesamtkomplex »Lebenswissenschaften« nicht genau abschätzbar. Nachfolgend werden wichtige – prognostizierte und existierende – räumliche Auswirkungen von moderner Laborarbeit beschrieben.

Zwei bedeutende Auswirkungen beziehen sich auf die zukünftige Dichte von Laborarbeit. Einerseits werden im Zuge der **Miniaturisierung** kompaktere Versuchsanordnungen und somit kleinere Labore erwartet. Zeitgleich werden durch **Automatisierung** in Verbindung mit einem deutlich gesteigerten Einsatz von Großgeräten, gegenteilige Auswirkungen erwartet. Automatisierte Großgeräte beanspruchen Platz und erfordern Räumlichkeiten mit veränderbaren Zuschnitten. Hier ist der Forschungsschwerpunkt entscheidend. Im Zuge einer hochautomatisierten Forschung *und* Entwicklung bspw. mittels Hochdurchsatzgeräten in der Pharmaindustrie wird es eher zu größeren Raumzusammenhängen im Labor kommen, mit ge-

¹⁷⁰ Vgl. Sigrist et al. (2016), S. 45; Kuchenbecker (2008), S. 38 ff.

¹⁷¹ Vgl. Hegger (2005), S. 29

ringer menschlicher Dichte. In öffentlich geförderter lebenswissenschaftlicher Grundlagenforschung dagegen wird es eher zu einer Miniaturisierung der Prozesse kommen, da Großgeräte hier absehbar keine größere Nutzungsrelevanz haben werden.¹⁷²

Auf Grund der zunehmenden **Informatisierung** wird der Anteil an Fläche für theoretisches Arbeiten im Verhältnis zu experimentellen Arbeiten steigen. Daraus resultierend ergeben sich u. a. Einsparmöglichkeiten beim Bau und Betrieb eines Forschungsgebäudes. Die Konsequenz und der zeitliche Horizont dieser Entwicklung ist ebenfalls abhängig von den Forschungs- und Entwicklungsinhalten. So ergab die Wiederholungsuntersuchung zu Laborarbeit in den Lebenswissenschaften in einem Abstand von rund 13 Jahren keine signifikanten Änderungen im Gesamtverhältnis von experimentellem und theoretischem Arbeiten – bis auf den Anteil an computergestützten Tätigkeiten. Dieser hat deutlich zugenommen.¹⁷³

Die weitere Virtualisierung und Simulation von Experimenten wird das Verhältnis zwischen theoretischem und experimentellem Arbeiten in den Lebenswissenschaften verändern und tendenziell zu verringerten Gebäudetiefen führen. Die Konvertierbarkeit von Laborflächen hin zu Flächen für die Wissensarbeit wird an Bedeutung gewinnen.¹⁷⁴

Die gestiegene Anforderung an formelle und informelle Kommunikation sowie an abteilungs- und disziplinübergreifende Teamarbeit erfordert ebenfalls eine Weiterentwicklung der räumlichen Gestaltung von Laborarbeit. Um dem Kommunikationsbedarf gerecht zu werden, werden weiterhin größere und offenere Laboreinheiten gestaltet. Informelle Treffpunkte können als Arbeitsorte genutzt werden, die nicht nur kommunikatives Arbeiten unterstützen. Durch die Möglichkeit zusätzlich Flächeneinheiten räumlich und akustisch abzutrennen, erhöht sich die Variabilität auch zu Gunsten weiterer Kommunikationsmöglichkeiten in Forschungsgebäuden. Erhöhte Anforderungen an die Flexibilität der Gebäude werden dazu notwendig sein.¹⁷⁵

¹⁷² Vgl. Sigrist et al. (2016), S. 28 f.; Kuchenbecker (2008), S. 35 f.; Hegger (2005), S. 29

¹⁷³ Vgl. Abbildung 23

¹⁷⁴ Vgl. Hegger (2005), S. 29

¹⁷⁵ Vgl. Hegger (2005), S. 29 Kuchenbecker (2008), S. 38 ff., S. 267 f.; Sigrist et al. (2016), S. 15, 20, 37, 38

Ähnlich wie bei den technischen Entwicklungen, treten bei der **Arbeitsorganisation** veränderbare Raum-Konzepte verstärkt in den Vordergrund. Flexible Raumeinheiten, ergänzt durch mobile Labormöbel und -geräte, sind nützlich, um Räume schnell versuchsadäquat umzugestalten. Eine höhere Vielfalt an wissenschaftlichen Disziplinen in der Forschung erfordert ebenfalls flexible Labore, gepaart mit modular aufgebauter Labortechnik. Ein Zuwachs an Teamarbeit führt prinzipiell zu dichteren räumlichen Nachbarschaften von Laboren und einer höheren Dichte in der Laborarbeit.¹⁷⁶

Die räumlichen Auswirkungen sich ändernder **Methoden** im Labor sind den räumlichen Auswirkungen arbeitsorganisatorischer Entwicklungen ähnlich. Durch eine Zunahme an Komplexität, theoretischem Arbeiten sowie einer wachsenden Spezialisierung, werden Laborumgebungen entweder flexibel gestaltbar oder möglichst universell gestaltet sein, um gemeinschaftlich von verschiedenen Forschungsgruppen genutzt werden zu können.¹⁷⁷ Ergänzend macht erhöhter Konkurrenz- und Wettbewerbsdruck in der Forschung eine rasche Anpassungsfähigkeit von Laborumgebungen an veränderte Forschungsaufgaben und Forschungsschwerpunkte notwendig.¹⁷⁸ Diesem Bedarf wird u. a. durch Verschmelzung von Flächen für die verschiedenen Arbeitsweisen in Laborumgebungen Rechnung getragen. Dazu gehören alle Ausprägungen des experimentellen, theoretischen, kommunikativen und geräteintensiven Arbeitens sowie der computerbasierten Forschung.¹⁷⁹

2.9 Forschungsdefizite

In den vorangegangenen Abschnitten wurde der Stand der Forschung und Praxis für Laborarbeit und Laborgestaltung der Lebenswissenschaften vorgestellt. Dabei wurde deutlich, dass wenig wissenschaftliche Literatur zur Beschreibung und Analyse von Laborarbeit, ihren Tätigkeiten und Arbeitsorten existiert. Eine themenspezifische Literaturrecherche wurde über die Literaturdatenbank TEMA® durchgeführt. Für die Recherche wurde nach Veröffentlichungen

¹⁷⁶ Vgl. Hegger (2005), S. 29

¹⁷⁷ Vgl. Sigrist et al. (2016), S. 26 f.

¹⁷⁸ Vgl. Hegger (2005), S. 29

¹⁷⁹ Vgl. Kuchenbecker (2008), S. 260 ff., S. 272 f.

in den letzten zehn Jahren mit einem weiten begrifflichen Ansatz gesucht.¹⁸⁰ Die Verknüpfung der Suchbegriffe mit dem Suchzeitraum 2010-2020 brachte 126 Treffer. Diese Veröffentlichungen wurden in Hinblick auf ihre Befassung mit den Lebenswissenschaften gesichtet. Diese Eingrenzung ließ 21 Veröffentlichungen verbleiben. Ihre thematische Unterteilung sowie die Einteilung in wissenschaftliche und nichtwissenschaftliche Veröffentlichungen ist in Abbildung 32 dargestellt. Die sieben wissenschaftlichen Publikationen bestehen aus zwei Publikationen zur Analyse und Längsschnittuntersuchung von Kommunikationstätigkeiten in Büro- und Laborumgebungen der pharmazeutischen Forschungs- und Entwicklung¹⁸¹ sowie aus fünf Veröffentlichungen zur Technisierung und Informatisierung von Laborarbeit.¹⁸²

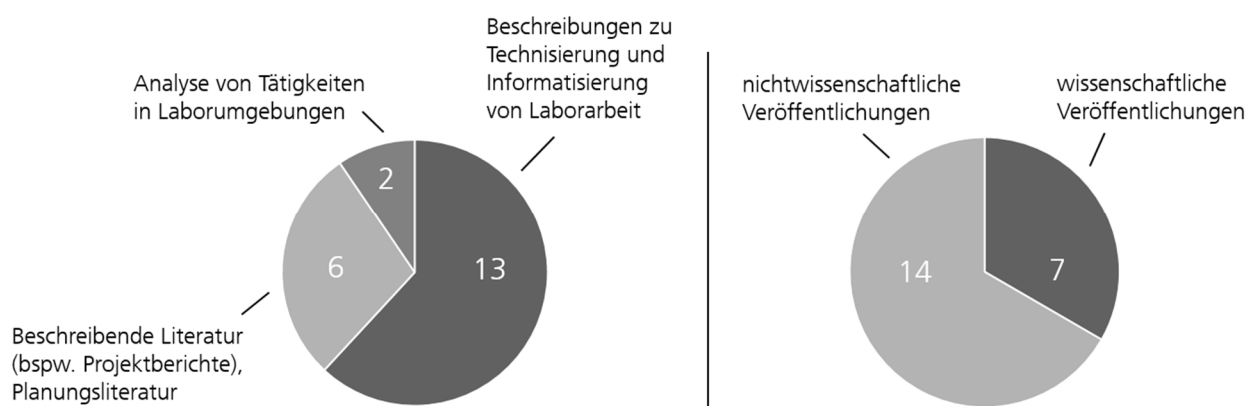


Abbildung 32: Einteilung und Anzahl der Ergebnisse der Literaturrecherche

Der Stand von Forschung und Praxis zu begrifflichen Erläuterungen und Tätigkeitsbeschreibungen für Laborarbeit und ihre Gestaltung findet sich in Abschnitt 2.5.1 und 2.5.3. Ein Forschungsdefizit ist diesbezüglich im Mangel an wissenschaftlich gestützten Aussagen zu Tätigkeitsanteilen und den Orten ihrer Ausführung erkennbar. Es erstaunt, dass bislang – außer Kommunikationsstudien – kaum wissenschaftliche Untersuchungen zu Laborarbeit und ihren Arbeitsorten existieren.

¹⁸⁰ Die zweisprachige Suche wurde über folgende Begriffe und deren Verknüpfungen durchgeführt: Labor, Laborarbeit, Laborplanung, Laborgestaltung, Forschungslabor, Arbeitsgestaltung. Weitere Eingrenzung via persönlicher Durchsicht nach: Lebenswissenschaften, Tätigkeiten, Arbeitsweisen.

¹⁸¹ Vgl. Abschnitt 2.5.2; Coradi et al. (2015); Heinzen et al. (2018)

¹⁸² Vgl. Abschnitt 2.8.1; Austerjost et al. (2018); Ken-En Gan/Poon (2016); Liu et al. (2012); Porr et al. (2019); Wang et al. (2018)

Auf Grund des Fehlens von wissenschaftlichen Erkenntnissen zu Tätigkeiten in Laborumgebungen der Lebenswissenschaften, wurden hierzu vom Verfasser eigene Untersuchungen mit Forscherinnen und Forschern durchgeführt. Die Ergebnisse der beiden Untersuchungen aus den Jahren 2007 und 2020 werden in den Abschnitten 2.6 und 2.7 erläutert. In der genaueren Betrachtung der Studienergebnisse zeigen sich sowohl Entwicklungstendenzen der Laborarbeit als auch mögliche Defizite im Umgang mit der Verteilung von Tätigkeiten und der Verfügbarkeit von Arbeitsorten in Laborumgebungen:

- Der steigende Anteil an theoretischem Arbeiten ist insbesondere durch IT-gestützte Tätigkeiten geprägt. Obwohl es eine bessere Zuordnung von theoretischem Arbeiten an dafür vorgesehene Arbeitsorte gibt, ist die mangelnde Verfügbarkeit dieser Arbeitsorte immer noch unter den Top 5 an Nennungen zu Optimierungspotenzialen in Laborumgebungen. Theoretisches Arbeiten findet auch heute immer noch mit signifikantem Anteil an der Laborbank statt. Dies spricht für einen Mangel an labornahen oder -integrierten Schreib-/Auswertepätzen, da die Nähe zum Experiment möglicherweise gewünscht ist, Labore und Laborbänke aber vom Prinzip her oftmals schlechte ergonomische Voraussetzungen für theoretisches Arbeiten mitbringen.
- Für das kommunikative Arbeiten ergibt sich ebenfalls das Bild einer besseren Zuordnung von Besprechungstätigkeiten an dafür vorgesehenen Arbeitsorten. Das Optimierungspotenzial ist zur Verfügbarkeit von Besprechungsräumen nicht so hoch eingeschätzt worden wie bei den Schreib-/Auswertepätzen. Für den Aspekt der Besprechungstätigkeiten sind die genannten Entwicklungen von besonderem Interesse. Zum einen haben sich die Anteile an internen Besprechungen deutlich erhöht, zum anderen ist die Erwartung bei den Forscherinnen und Forschern hoch, was die Zunahme an abteilungsübergreifender Teamarbeit betrifft.

Die Auseinandersetzung mit dem Stand von Forschung und Praxis bringt weitere Forschungsdefizite zu Tage. Die laborspezifische Technisierung hin zum »Labor 4.0« und die Zunahme an fachübergreifender Zusammenarbeit sind demnach die wichtigsten Treiber für die zukünftigen Entwicklungen. Damit können eine veränderte Personal- oder Experimentdichte im Labor einhergehen mit möglichen Raum- und Ausstattungswirkungen. Aus den Veränderungen resultierende Substitutionspotenziale für Laborflächen oder Laborausstattung sind mit der derzeit

verfügbaren Information jedoch nicht erkennbar. Es kann aber nicht auf mögliche Veränderungen¹⁸³ reagiert oder dazu proaktiv agiert werden, wenn man keine Information zum aktuellen Zustand hat, um daraufhin mögliche Auswirkungen bspw. mittels eines zeitlichen Vergleichs zur Verteilung von Tätigkeiten besser einschätzen zu können. Vermutete Effekte bspw. zum Raum- und Arbeitsplatzbedarf bleiben unsichtbar, wenn man nicht mindestens den IST-Zustand untersucht und idealerweise Vergleiche zu anderen Laborumgebungen ziehen kann. Dafür muss zunächst eine methodische Basis geschaffen werden. Ein weiteres Forschungsdefizit ergibt sich daher aus dem Mangel an spezifischen wissenschaftlichen Untersuchungsmethoden zur Erfassung der Arbeit im Labor. Es existiert keine wissenschaftliche Methode, die räumlich-prozessuale Untersuchungen und Vergleiche zur Arbeit in Laborumgebungen ermöglicht, um Laborumgebung ggf. an (veränderte) Bedarfe anpassen zu können. Hintergründe zu Wirkungen einer unterschiedlichen räumlichen Gestaltung werden nicht erfasst und können so auch nicht in zukünftig nutzergerechtere Laborumgebungen einfließen. Daher besteht Bedarf an einer Methode, die entsprechende Analysen und Aussagen ermöglicht. Diese Methode kann als individuelle Planungs- und Betriebsunterstützung für Institute und Unternehmen fungieren. Sie soll aber ebenso, mit aufbereiteten Erkenntnissen aus erfolgten Untersuchungen, zielgenauer Planen und somit bedarfsgerechteres Bauen von Laborumgebungen für die Lebenswissenschaften in der Breite fördern.

¹⁸³ Im Rahmen dieser Arbeit insbesondere in Bezug auf Flächen und Räume in Laborumgebungen.

3 Entwicklung einer Methode zur Analyse der Tätigkeitsverteilung in Laborumgebungen der Lebenswissenschaften

Im Zuge der Analyse zum Stand der Forschung und Praxis haben sich klare Forschungsdefizite gezeigt hinsichtlich des Mangels an wissenschaftlichen Untersuchungen zu Laborarbeit sowie dem »defensiven« wissenschaftlichen Umgang mit Veränderungen und Entwicklungen in der Laborarbeit (vgl. Abschnitt 2.9). Um dem Forschungsdefizit zu begegnen, wird im vorliegenden Kapitel eine Methode entwickelt, die der Untersuchung von Tätigkeiten in Laborumgebungen der Lebenswissenschaften sowie ihren zeitlichen und räumlichen Verteilungsparametern dient und »*Methode zur Analyse der Tätigkeitsverteilung in Laborumgebungen der Lebenswissenschaften*« heißt.

Die Methode soll aus zwei wesentlichen Komponenten bestehen,

- einer Methode zur Messung der quantitativen Verteilung der relevanten Tätigkeiten in einem lebenswissenschaftlichen Labor über die Arbeitsplatz- und Raumangebote der Laborumgebung sowie
- einer Methode zu Messung und ergänzenden Charakterisierung der erfassten FtF (Kommunikation) nach Art, Umfang und Reichweite.

Im Folgenden werden dazu zunächst der Anwendungszweck und das Anwendungsumfeld beschrieben bevor anhand spezifischer Bewertungskriterien (vgl. Abschnitt 3.3) eine finale Auswahl der weiter verwendeten Untersuchungsmethode oder -methoden getroffen wird.

3.1 Anforderungen an die Methode

3.1.1 Anwendungszweck und Anwendungsumfeld

Das räumliche Anwendungsumfeld ist die lebenswissenschaftliche Laborumgebung. Diese ist mit ihren Arbeitsorten in den Abbildungen 4, 17, 18 dargestellt. Der Anwendungszweck ist die Untersuchung von Tätigkeiten bzw. ihrer Verteilung in der Laborumgebung. Die relevanten Tätigkeiten in Laborumgebungen der Lebenswissenschaften sind in Abschnitt 2.5 und 2.6 aufgeführt und beschrieben. Für die Methode werden Tätigkeitsbündel verwendet, um im Zuge einer Anwendungsorientierung von vorne herein keine Nutzungsbarrieren aufzubauen. Qua

ihrer Gliederung können maximal zwei Bündel gleichzeitig ausgeführt werden, d. h. die Erfassung dieser Merkmale ist relativ eindeutig möglich.

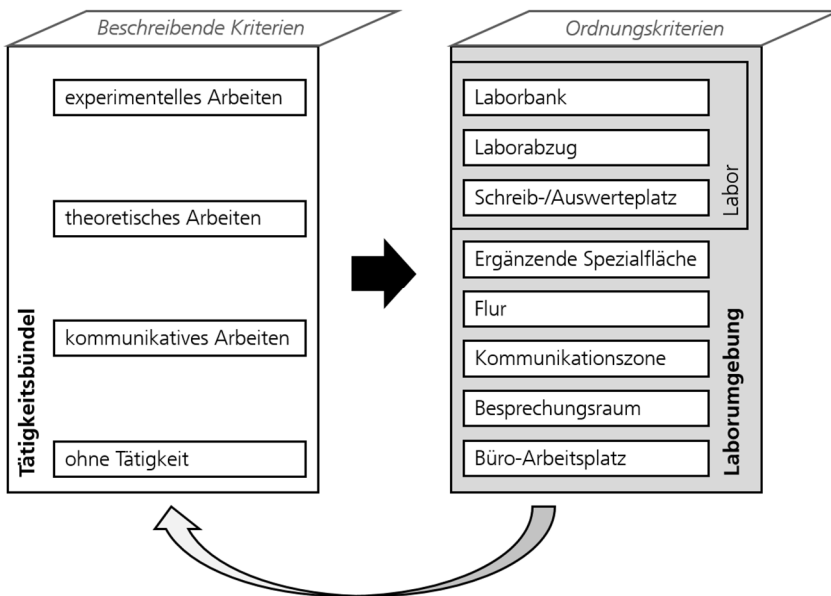


Abbildung 33: Anwendungszweck und Anwendungsumfeld der Methode

Laborumgebungen können auf Grund ihrer Vielfältigkeit auch aus geschlossenen und etwas abseitigen Räumen bestehen, so dass bei manchen Laborumgebungen von einer »verwinkelten« Arbeitsumgebung gesprochen werden kann. Die Tätigkeitsbündel als beschreibende Kriterien werden erfasst, wenn sie am Arbeitsort ausgeführt werden. Der schwarze Pfeil in Abbildung 33 repräsentiert den beschreibenden Weg. Der graue Pfeil beschreibt eine mögliche reziproke Wirkung, die sich bspw. aus einer hohen Auslastung von Arbeitsorten ergeben kann. Wenn eine Tätigkeit oder die Kombination von Tätigkeiten an einem Arbeitsort der Laborumgebung eine andere Tätigkeit verdrängt oder stört, kann es diese Rückkopplung mit Wirkung auf andere Tätigkeiten geben. Es ist es wichtig, mit der Methode solche Situationen erfassen und darstellen zu können.

3.1.2 Integration von Kommunikationsmerkmalen in die Methode

Die Bedeutung von FtF (Kommunikation) für FuE ist in Abschnitt 2.5.2 beschrieben. Kommunikatives Arbeiten enthält die einzigen Tätigkeiten, die an jedem Arbeitsort der Laborumgebung ausgeführt werden können. Die Kommunikationsmerkmale sind beschreibende Kriterien für Kommunikationsereignisse. Die Auswahl der Merkmale für die Integration in die Methode zur Analyse der Tätigkeitsverteilung, orientiert sich an typischen FtF Ausprägungen, wie etwa die

Anzahl der teilnehmenden Personen oder die Dauer des Kommunikationsereignisses. Basierend auf der Literaturrecherche zum Thema Kommunikation in FuE Laboren, wird zusätzlich das Merkmal »Beteiligte Personen« aufgenommen. Dahinter verbergen sich Angaben, wer alles am Kommunikationsereignis teilgenommen hat, die eigene Gruppe/Abteilung, die Gruppen- oder Abteilungsleitung sowie externe oder benachbarte Forschungsgruppen. Mit diesen Merkmalen können Kommunikationsveränderungen entlang der Berichtslinie und Hierarchie-Level festgestellt werden (vgl. Abschnitt 2.5.2). Das Merkmal »Kommunikationsart« bezeichnet formelle und informelle Kommunikation, also den Planungs- und Spontaneitätsgrad des Kommunikationsereignisses.

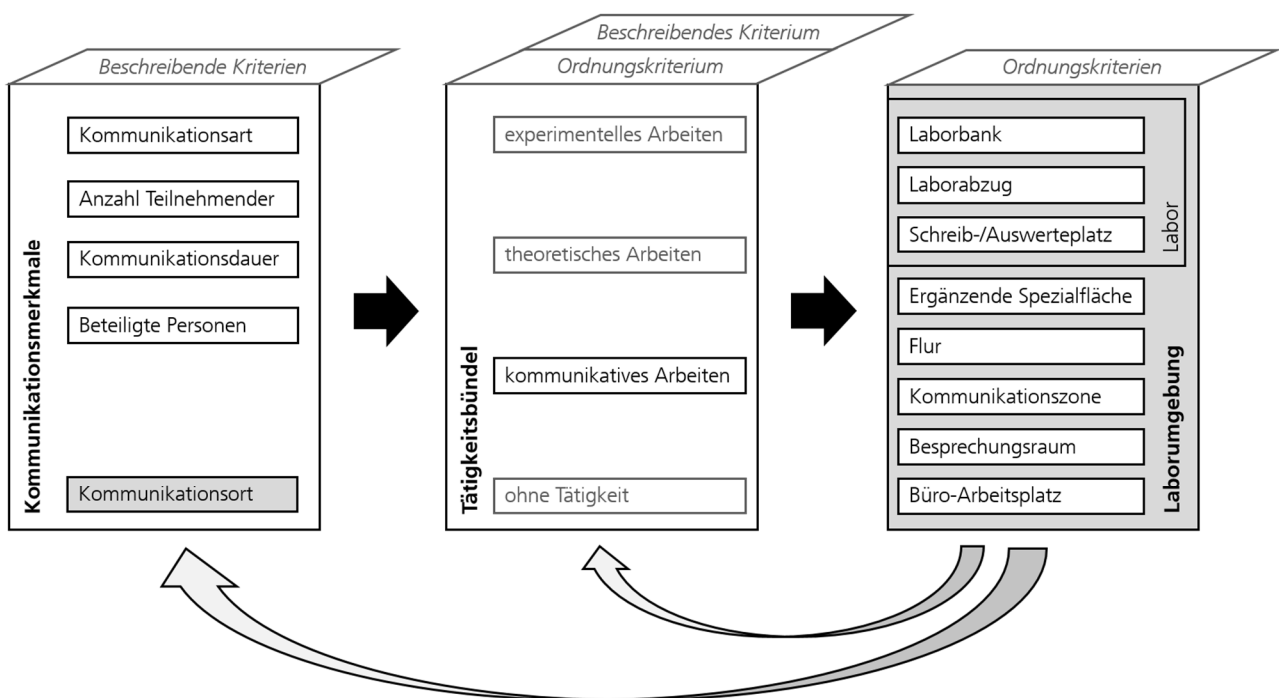


Abbildung 34: Kommunikationsmerkmale als weitere Komponenten der Methode

Die Durchführung der Methode zur Analyse der Tätigkeitsverteilung wird mit den zusätzlichen Komponenten spürbar komplexer. Während die Erfassung von Tätigkeitsbündeln bei maximal zwei liegen kann, liegt sie bei der Kommunikation quasi immer bei vier parallelen Merkmalen, da sich Kommunikationsereignisse immer über diese vier Merkmale beschreiben lassen. Kommunikatives Arbeiten ist hier sowohl Ordnungskriterium für die Kommunikationsmerkmale als auch beschreibendes Kriterium für die Arbeitsorte in der Laborumgebung. Die grauen Pfeile in Abbildung 34 zeigen ebenfalls die prinzipielle Möglichkeit von Rückkopplungseffekten auf, die ebenso den Kommunikationsort betreffen können, der gleichzeitig beschreibendes Kriterium ist.

3.2 Eigene Einteilung arbeitswissenschaftlicher Untersuchungsmethoden

Vor der Auswahl der zu bewertenden Untersuchungsmethoden wurde zunächst ein Überblick zum insgesamt vorhandenen Methodenset angelegt. Da zum Begriff »Tätigkeitsanalyse« kein einheitliches Verständnis in Wissenschaft und Praxis existiert¹⁸⁴, wurde zur besseren Übersicht eine eigene Einteilung von Untersuchungsmethoden erstellt. Diese speisen sich aus Methoden der Arbeitswissenschaft sowie den Human- und Sozialwissenschaften, die wissenschaftliche Teilbereiche der Arbeitswissenschaft sind. Die im Zentrum von Abbildung 35 auf Seite 79 stehenden Methoden sind daher auch keine rein arbeitswissenschaftlichen Methoden. Sie sind darunter zusammengefasst worden, da sie in einem arbeitswissenschaftlichen Kontext Verwendung finden sollen.

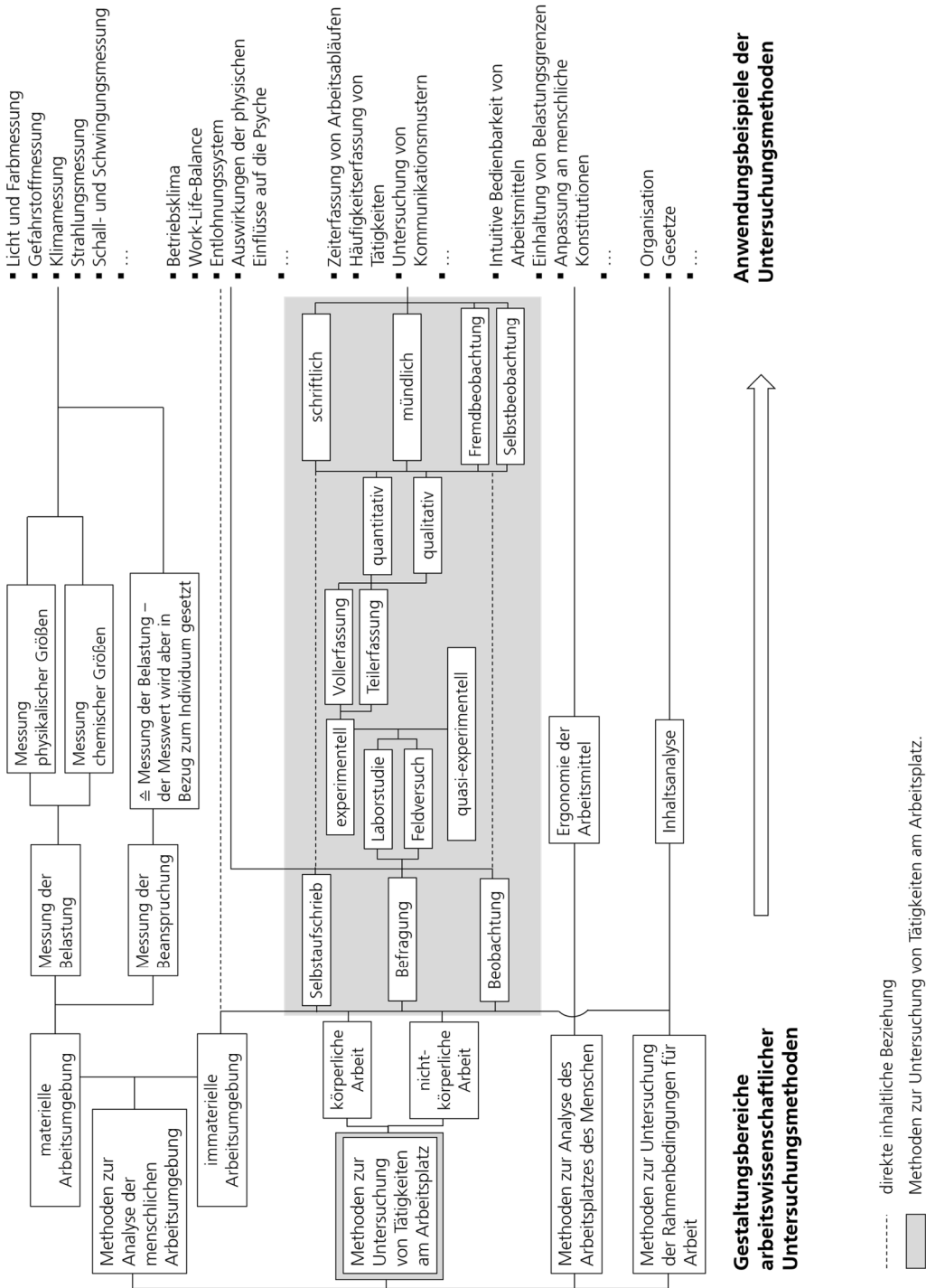
Als Basis für die eigene Gliederung, wurden die Einteilungsvarianten und textlichen Beschreibungen aller in den Quellen genannten Autoren analysiert und neu unterteilt. Um die möglichen Methoden für Untersuchungen zu Tätigkeitsverteilung und Kommunikationsmerkmalen herauszuarbeiten, umfasst die erste Gliederungsebene vier verschiedene Gestaltungsbereiche arbeitswissenschaftlicher Untersuchungsmethoden. Dabei handelt es sich um

- Methoden zur Analyse der menschlichen Arbeitsumgebung,
- Methoden zur Untersuchung von Tätigkeiten am Arbeitsplatz,
- Methoden zur Analyse des Arbeitsplatzes des Menschen,
- Methoden zur Untersuchung der Rahmenbedingungen für Arbeit.

Die Gestaltungsbereiche sind thematisch von links nach rechts in der Abfolge Untersuchungsmethoden, Rahmenbedingungen der Untersuchung sowie Methoden der Datengewinnung aufgeführt. Auf der rechten Seite der Abbildung sind jeweils Anwendungsbeispiele genannt. Unter **»Methoden zur Analyse der menschlichen Arbeitsumgebung«** sind die Methoden subsummiert, bei denen Elemente der Arbeitsplatzumgebung gemessen und darauf aufbauend gestaltet werden. Die Messobjekte sind entweder materieller Natur, wie etwa Farben oder

¹⁸⁴ Hier sei als Beispiel das »Arbeitswissenschaftliche Erhebungsverfahren zur *Tätigkeitsanalyse* (AET)« genannt. Mit dem Verfahren wird eine engpassbezogene Belastungsanalyse des Menschen vorgenommen.

Gefahrstoffe. Oder sie sind immaterieller Natur, wie etwa das Betriebsklima oder die Work-Life-Balance. Unter **»Methoden zur Analyse des Arbeitsplatzes des Menschen«** sind Methoden zusammengefasst, mit denen die Ergonomie der Arbeitsmittel analysiert und gestaltet wird. So sind bspw. die intuitive Bedienbarkeit von Arbeitsmitteln oder die Anpassung der Arbeitsmittel an die menschliche Konstitution, Untersuchungs- und Gestaltungselemente der Ergonomie. Als **»Methoden zur Untersuchung der Rahmenbedingungen für Arbeit«**, werden bspw. die Inhaltsanalyse oder die Beobachtung genannt, um Gesetze oder gesellschaftliche Normen zu analysieren. Der Ast zu **»Methoden zur Untersuchung von Tätigkeiten am Arbeitsplatz«** ist ausführlicher untergliedert, da hier die Untersuchungsmethoden zusammengefasst sind, die als mögliche Grundbausteine für die eigene Methode in Frage kommen und in Folge näher betrachtet werden. Die in diesem Ast benannten Untersuchungsmethoden sind Befragung, Beobachtung und Selbstaufschrieb.



Anwendungsbeispiele der Untersuchungsmethoden

Gestaltungsbereiche arbeitswissenschaftlicher Untersuchungsmethoden

----- direkte inhaltliche Beziehung
 ▒ Methoden zur Untersuchung von Tätigkeiten am Arbeitsplatz.

Abbildung 35: Übersicht zu Untersuchungsmethoden aus der Arbeitswissenschaft¹⁸⁵

¹⁸⁵ Eigene Einteilung und Darstellung; vgl. Döring/Bortz (2016), S. 323-425, S. 533-560; Schmauder/Spanner-Ulmer (2014), S. 179 ff., S. 269-275; Atteslander (2010), S. 109-111; Bortz/Döring (2006), S. 54 f., S. 236-239, S. 296-300, S. 324-325; Luczak (1998), S. 40-45, S. 650-674; Bullinger (1995), S. 195 f., S. 212-214; Schnell et al. (1995), S. 354-358; Bokranz/Landau (1991), S. 23-25, S. 177-178, S.232 f.; Huber (1987), S.124-143; Atteslander/Kopp (1987), S. 144-147; Gachowetz (1987), S. 255-265

Im Folgenden Abschnitt werden die Untersuchungsmethoden Befragung, Selbstaufschrieb und Beobachtung näher beschrieben.¹⁸⁶ Ergänzend dazu wird eine weitere Untersuchungsmethode vorgestellt, die der »Beobachtung« zuzurechnen ist und daher nicht extra in der Übersicht der arbeitswissenschaftlichen Untersuchungsmethoden erwähnt wird. Es handelt sich dabei um die Multimoment-Methode. Sie ist eine klassische Häufigkeits- und Zeitermittlungsmethode aus der Arbeitswissenschaft.

3.3 Beschreibung der arbeitswissenschaftlichen Untersuchungsmethoden Befragung, Selbstaufschrieb und Beobachtung

	Befragung	Selbstaufschrieb	Beobachtung
Definition	Die wissenschaftliche Befragung zeichnet sich durch die Kontrolle jeder einzelnen Befragungsphase aus.	Der Selbstaufschrieb ist eine Befragungsmethode, bei der der Proband seine Tätigkeiten eigenständig in Form eines Protokolls festhält. Die Methode ist eine Mischform aus (Selbst-)Beobachtung und Befragung.	Beobachtung beschreibt den Versuch der systematischen Verhaltenserfassung.
Formen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ mündlich ▪ schriftlich 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ standardisiertes Protokoll ▪ teilweise-standardisiertes Protokoll ▪ nicht-standardisiertes Protokoll 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fremdbeobachtung ▪ Selbstbeobachtung

Tabelle 4: Kurzbeschreibung der drei wesentlichen Untersuchungsmethoden

¹⁸⁶ Ergänzende Informationen zu Einteilungskriterien der Untersuchungsmethoden finden sich im Anhang.

3.3.1 Befragung

Die Methode »Befragung« hat ein breites Anwendungs- und Ausführungsspektrum. Die wissenschaftliche Befragung unterscheidet sich »von der alltäglichen Befragung durch die Kontrolle jeder einzelnen Befragungsphase«¹⁸⁷, also »der theoriegeleiteten Kontrolle der gesamten Befragung«¹⁸⁸. Wichtiges Einteilungskriterium für die »Befragung« ist die Art des Kontaktes mit dem Befragten. Hier wird zwischen mündlicher und schriftlicher Befragung unterschieden.¹⁸⁹ Ein weiteres bedeutendes Unterscheidungsmerkmal ist der Standardisierungsgrad. Sind die Antwortmöglichkeiten fest vorgegeben, spricht man von einer standardisierten oder strukturierten Befragung. Der Vorteil liegt in der einfacheren Durchführbarkeit, insbesondere bei schriftlichen Befragungen. Auch sind die Informationen der Befragung besser vergleichbar. In Rahmen einer unstrukturierten Befragung wird ein Thema vorgegeben über das sich ausgetauscht wird. Zur tieferen Erfassung von Sachverhalten und Meinungen ist diese Variante gut geeignet, da sie auf Nachfragen ausgelegt ist. Die Auswertung von unstrukturierten Befragungen ist deutlich komplexer, auch ist eine Vergleichbarkeit der Befragungsergebnisse deutlich schwerer herzustellen und zumeist nur qualitativ möglich.¹⁹⁰

3.3.2 Selbstaufschrieb

Nach Luczak ist der Selbstaufschrieb eine Befragungstechnik, bei der ein Proband seine Tätigkeiten auf einem Protokollbogen festhält. Dies geschieht meist über längere Zeiträume und findet im Rahmen von Felduntersuchungen statt.¹⁹¹ Die Einteilung des Selbstaufschrieb unter Befragung ist nachvollziehbar, da der Protokollbogen eine Art Fragebogen ist, auf dem der Proband Merkmale, Ausprägungen oder Häufigkeiten festhält.

Der Selbstaufschrieb kommt methodisch ebenfalls nah an die Selbstbeobachtung heran. Döring und Bortz beschreiben den Selbstaufschrieb als Methode, in der man den Probanden »aufgibt, im Sinne von Ereignisstichproben über einen festgelegten Zeitraum hinweg bestimmte

¹⁸⁷ Atteslander/Kopp (1987), S. 146

¹⁸⁸ Atteslander (2010), S. 111

¹⁸⁹ Vgl. Döring/Bortz (2016), S. 356 f., 398 ff.

¹⁹⁰ Vgl. Diekmann (2007), S. 437 f.

¹⁹¹ Vgl. Luczak (1998), S. 42

*Erlebnisse aufzuschreiben oder im Sinne von Zeitstichproben in bestimmten Zeitabständen Notizen zu machen.*¹⁹² Der Unterschied zwischen Selbstaufschrieb und Selbstbeobachtung lässt sich an der beobachteten Person und dem Protokollanten festmachen. Beim Selbstaufschrieb führt ein Proband die Tätigkeit durch und protokolliert selbige eigenständig auf einem Bogen, der vom Forscher erstellt wurde. Bei der Selbstbeobachtung führt der Forscher die Tätigkeit selbst aus und beobachtet sich mit seinem geistigen Auge ebenfalls selbst. Die Protokollierung seines Erlebten, wird ebenfalls von ihm selbst vorgenommen.

Die Methode »Selbstaufschrieb« wird – trotz der Nähe zu anderen Methoden – als eigenständige Methode beibehalten. Der Selbstaufschrieb wird in der vorliegenden Arbeit als Methode verstanden, in der vom Probanden selbstständig und regelmäßig, ohne unmittelbare Überwachung vom Forscher, Merkmale, Zustände, Verhaltensweisen oder Häufigkeiten dokumentiert werden. Wichtig ist dabei, dass die Merkmale, Zustände, Verhaltensweisen oder Häufigkeiten dem Probanden vom Forscher vorgegeben wurden.

3.3.3 Beobachtung

Die wissenschaftliche Beobachtung ist laut Huber »*die zielgerichtete und methodisch kontrollierte Wahrnehmung von konkreten Systemen, Ereignissen (zeitliche Änderungen in konkreten Systemen) oder Prozessen (Sequenzen von Ereignissen)*«¹⁹³ Ein wesentliches Einteilungskriterium von wissenschaftlicher Beobachtung ist die Fremd- und Selbstbeobachtung. Eine weitere wichtige Gliederung der Methode ist die Unterscheidung in direkte und indirekte Beobachtung. Diese Beschreibungen geben an, ob Merkmale oder Verhalten direkt am Untersuchungsobjekt beobachtet werden oder ob im Zuge einer indirekten Untersuchung bspw. Spuren im Schnee beobachtet werden, um daraus Rückschlüsse zu ziehen.¹⁹⁴

¹⁹² Bortz/Döring (2006), S. 324

¹⁹³ Huber (1987), S. 124

¹⁹⁴ Vgl. Schnell (1995), S. 356-358; Huber (1987), S. 131 ff.

3.3.4 Multimoment-Methode

Die Multimoment-Methode gehört zur Untersuchungsmethode Beobachtung und ist eine spezielle Form der quantitativen Teilerhebung. Als Untersuchungsmethode wird sie überwiegend im Rahmen einer Fremdbeobachtung angewandt. Die Multimoment-Methode findet als Sonderform der Beobachtung hier eine hervorgehobene Berücksichtigung, da sie sich im Rahmen von raumbezogenen Tätigkeitsanalysen bewährt hat. Die Teilerhebung lässt sich in die Multimomenthäufigkeitszählmethode und die Multimomentzeitmessmethode unterteilen. Unterschiede ergeben sich bei der Auswertung und den Ergebniskategorien. Bei der Häufigkeitszählmethode erlangt man absolute Zahlen und Prozentsätze als Ergebnis. Mit der Zeitmessmethode erhält man Zeitwerte als Ergebnis. Bei beiden Varianten ist die Erhebungsphase ähnlich, da bei unregelmäßig stattfindenden Rundgängen Vorkommnisse aufgenommen oder gemessen werden. Die REFA nennt das Verfahren auch Multimomentaufnahme und beschreibt es mit *»dem Erfassen der Häufigkeit zuvor festgelegter Ablaufarten an einem oder mehreren gleichartigen Arbeitssystemen mit Hilfe stichprobenmäßig durchgeführter Kurzzeitbeobachtung«*¹⁹⁵. Für die REFA steht also die Häufigkeitszählung im Vordergrund. Schnauber betont die Bedeutung der mathematisch-statistische Auswertung bei Anwendung der Methode. *»[...] An die Stelle einer kontinuierlichen Zeitstudie [tritt] eine vielfach unterbrochene Arbeitsstudie, wobei jede Einzelbeobachtung und -feststellung nur einen Moment dauert. Diese wiederholten Beobachtungen von Tatbeständen stellen Stichproben dar, die mathematisch-statistisch ausgewertet werden und einen Schluß auf die wirklichen Zeitanteile der einzelnen Tatbestände zulassen.«*¹⁹⁶

Für die Anwendung des Häufigkeitszählverfahrens wird von Schlick et al. das Hinrichsen Modell vorgestellt, welches den Prozess der gesamten Ausführung etwas ausführlicher darstellt als das Vorgehensmodell der REFA (vgl. Abbildung 36). Für die erfolgreiche Anwendung der Methode sind in der Vorbereitung die Definition und ggf. Abgrenzung der zu notierenden Vorkommnisse sowie die Ermittlung der notwendigen Anzahl an Notationen zur Festlegung der Gesamtanzahl an Rundgängen wichtig.

¹⁹⁵ REFA (1993), S. 250

¹⁹⁶ Schnauber (1979), S. 255

Die Schulung der Beobachter ist ebenfalls bedeutend und sollte in der Praxis mit einem Pre-Test erfolgen. Eine Zwischenauswertung dient der Überprüfung der festgelegten Ablaufarten in Verbindung mit der Anzahl an Rundgängen und der notwendigen Notierungen.¹⁹⁷

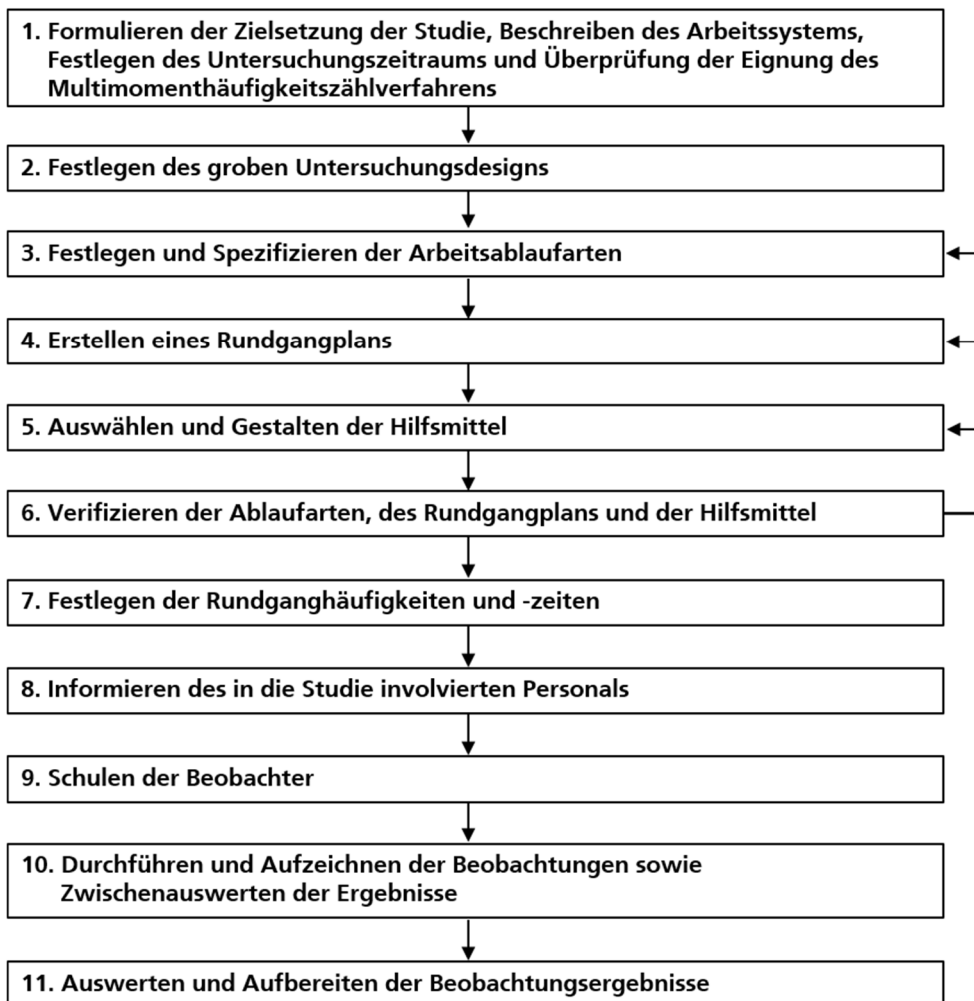


Abbildung 36: Vorgehensmodell zur Anwendung des Multimomenthäufigkeitszählverfahrens nach Hinrichsen¹⁹⁸

¹⁹⁷ Bei (integrierten) Laboren mit unterschiedlichen Tätigkeitsschwerpunkten (bspw. experimentelles Arbeiten an der Laborbank, theoretisches Arbeiten am Schreib-/Auswertepplatz) kommt diesem Punkt eine (noch) größere Bedeutung zu, um bei einer gewünschten Aussagewahrscheinlichkeit von bspw. 95% einen vergleichbaren absoluten Vertrauensbereich zu erzielen.

¹⁹⁸ Vgl. Schlick et al. (2010), S. 684 f.

3.4 Auswahlkriterien zur Bewertung der Untersuchungsmethoden

Die hier beschriebenen Auswahlkriterien zur Bewertung der arbeitswissenschaftlichen Untersuchungsmethoden gewährleisten ihre Anwendungsmöglichkeit und Nutzungsfreundlichkeit für den mehrdimensionalen Anwendungszweck und das entsprechende Anwendungsumfeld.

Organisatorischer Aufwand

Organisatorischer Aufwand bezeichnet die Aufwendungen, die in der Vorbereitungs- und Erhebungsphase für die Untersuchungsmethode anfallen, damit die erhobenen Daten aussagekräftig werden. Zu diesen Aufwendungen gehören: Anpassung der Methode auf die jeweilige Zielumgebung, Informationsbereitstellung für die Zielgruppe, Koordinationsaufwand für die Durchführung der Erhebung, Kontrolle der Datenerhebungssituation sowie das Bereitstellen von Zwischenergebnissen.

Zeitaufwand

Mit Zeitaufwand ist der zeitliche Aufwand für die Vorbereitung der Untersuchung und deren Auswertung gemeint. Der Zeitaufwand ergänzt den organisatorischen Aufwand um die zeitliche Komponente. Nicht berücksichtigt wird hierbei der Erhebungszeitraum.

Zusammenhänge / Kausalitäten erkennen

Hiermit sind die Möglichkeiten der Untersuchungsmethode gemeint, Besonderheiten gut herausstellen zu können. Es geht hier insbesondere um die Übersichtlichkeit und Transparenz der erhobenen Zusammenhänge. Gleichzeitig steht das Auswahlkriterium für die Möglichkeit, mit der Untersuchungsmethode neue bzw. unbekannte Zusammenhänge oder Merkmale erkennen zu können, sowie für die möglichst unkomplizierte Möglichkeit diese bei Bedarf in das Erhebungsdesign einfließen lassen zu können.

Validität

Das Auswahlkriterium bezeichnet die Möglichkeit der Untersuchungsmethode, tatsächlich die Messung der benötigten Variablen zu unterstützen. Kann die Untersuchungsmethode mit den erhobenen Daten so arbeiten, dass die Ergebnisse valide im Sinne des Untersuchungszwecks sind?

Reproduzierbarkeit / Reliabilität

Unter Reproduzierbarkeit wird hier die Möglichkeit verstanden, mit der man bei wiederholter Anwendung der Untersuchungsmethode unter gleichen Voraussetzungen dieselben Ergebnisse erzielen kann.

Objektivität der Daten

Unter Objektivität der Daten wird hier die Unabhängigkeit von individuellen Einflüssen der registrierten Merkmale verstanden. Die erhobenen Daten sind immer dann subjektiv beeinflussbar, wenn die Aufnahme oder Messung von demjenigen abhängt, der sie durchführt oder daran beteiligt ist.

3.5 Bewertung der Untersuchungsmethoden mit den Auswahlkriterien

Zur besseren Vergleichbarkeit der Untersuchungsmethoden untereinander und in Hinblick auf die Umsetzung der neuen Methode, sind die Untersuchungsmethoden in besser vergleichbaren Ausprägungsformen bewertet worden. Zum Beispiel: Eine persönliche mündliche Befragung ist insgesamt aufwändig, da sie mindestens zwei Personen involviert. Dazu kommt der Aufwand für die Transkription des Interviewprotokolls. Im Rahmen einer standardisierten und sich wiederholenden Untersuchungsmethode würde man das deutlich effizienter als elektronisch-schriftliche Befragung vornehmen. Ähnliches gilt für den Selbstaufschrieb. Hier würde man im Rahmen einer standardisierten Untersuchungsmethode eine elektronisch-standardisierte Erhebungsform wählen. Beide Erhebungsarten werden aber erst vergleichbar, wenn man diese Ausprägungen entsprechend wählt. Ein Vergleich bspw. der Methoden »Befragung« und »Selbstaufschrieb« wäre ohne diese Detaillierung in Hinblick auf den Verwendungszweck zu ungenau.

Aus der Bewertung wird ersichtlich, dass für die Methode zur Analyse der Tätigkeitsverteilung mit gleichzeitiger Betrachtung von Kommunikationsmerkmalen am besten die Untersuchungsmethoden

- Beobachtung mit Multimoment-Methode
- Selbstaufschrieb

geeignet sind. Dies ergibt sich vor allem aus dem relativ geringen Aufwand für alle Beteiligten bei gleichzeitig guter Datenqualität, die man bei Anwendung der Methoden erhält.

Für die Erhebung zu den Kommunikationsmerkmalen kommt auf Grund der unterschiedlichen und manchmal unübersichtlichen Laborumgebungen sowie der relativ hohen Anzahl an Merkmalen und Merkmalsausprägungen nur der Selbstaufschrieb in Frage, da die anderen Methoden das nicht gut erfassen können, bzw. eine Befragung für die Informationsgewinnung zu ungenau wäre, da Kommunikationsereignisse permanent vorkommen.

Im Sinne eines Aufwandsausgleich sowie zwischen subjektiver und objektiver Betrachtung (aus Sicht der Mitarbeitenden), ist es daher konsequent, für die Aufnahme von Daten zu Tätigkeitsbündeln eine direkte Methode mit Durchführungsverantwortung bei den Untersuchenden zu wählen. Die Teilerhebung von Häufigkeiten mittels der Multimoment-Methode scheint ebenfalls vor dem Hintergrund einer effizienten Durchführung, in zum Teil unübersichtlichen Raumsituationen, ideal. In offenen und übersichtlichen Laborumgebungen könnte für die Untersuchung auch eine andere Beobachtungsvariante gewählt werden.

	Organisatorischer Aufwand	Zeitaufwand	Zusammenhänge / Kausalitäten erkennen	Validität	Reproduzierbarkeit / Reliabilität	Objektivität der Daten
Beobachtung gesamt	●	●	●	●	●	●
<i>Fremdbeobachtung</i>	●	●	●	●	●	●
<i>Multimoment-Methode</i>	●	●	●	●	●	●
<i>Selbstbeobachtung</i>	⊕	⊕	○	●	●	○
Befragung gesamt	●	●	●	●	●	●
<i>mündlich-standardisiert (Interview)</i>	●	●	●	●	○	●
<i>elektronisch-schriftlich-standardisiert</i>	⊕	⊕	●	●	●	●
Selbstaufschrieb gesamt	●	⊕	●	●	●	●
<i>elektronisch-standardisiert</i>	⊕	⊕	●	●	●	●
<i>elektronisch teil-standardisiert</i>	●	●	●	●	●	○

○ niedrig ● mittel ● hoch + führt zu positiver Bewertung

Abbildung 37: Bewertung der Untersuchungsmethoden

4.1.1 Die Basiskomponenten der Methode – Tätigkeitsverteilung

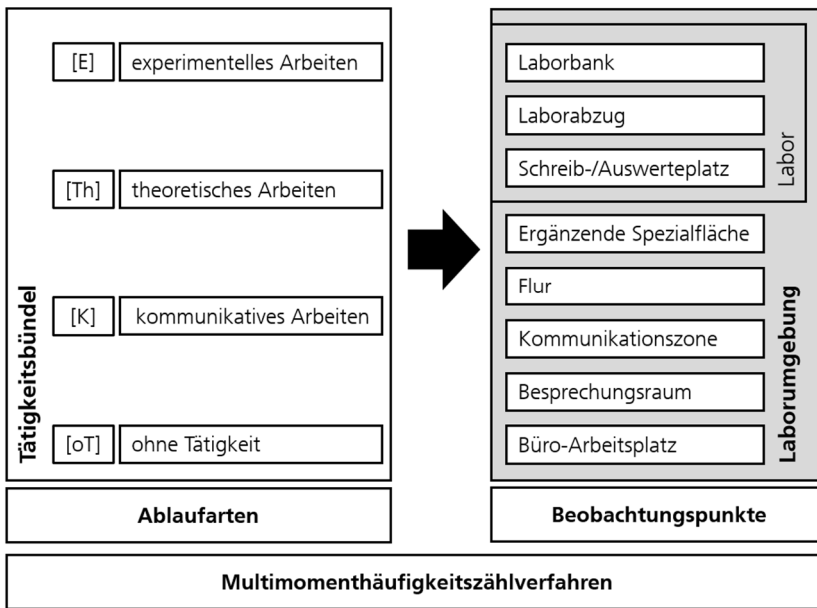


Abbildung 39: Die Basiskomponenten der Methode – Tätigkeitsbündel und Arbeitsorte

Die Datenerhebung zur Analyse und Bemessung der Tätigkeitsverteilung erfolgt in der Methodik mit Hilfe der Multimomentaufnahme, denn die Datenerhebung soll möglichst minimalinvasiv stattfinden können, ohne die Mitarbeitenden in der Laborumgebung in ihrem Arbeitsfluss zu stören bzw. zu unterbrechen. Über die Verteilung der Tätigkeiten in unterschiedlichen Räumen und an unterschiedlichen Arbeitsplätzen in der Laborumgebung lassen sich bereits erste wichtige Rückschlüsse über die Abläufe im lebenswissenschaftlichen Labor bzw. im Vergleich verschiedener Labore in Hinblick auf deren prozessunterstützende Qualität identifizieren. An der Laborbank ist bspw. das Verhältnis der Arbeitsweisen experimentelles Arbeiten, theoretisches Arbeiten, kommunikatives Arbeiten sowie deren Häufigkeit zueinander von hohem Interesse und gibt Aufschluss, ob es hier zu einer vermeintlich negativen Beeinflussung von Tätigkeiten kommt. So sollte an der Laborbank experimentelles Arbeiten einen möglichst hohen Anteil annehmen, ggf. in Verbindung mit einem kleinen bis mittleren Anteil an kommunikativem Arbeiten, was Aufschluss darüber geben kann, ob dort Informationsfluss und Lernen bspw. im Hinblick auf ein Experiment stattfindet. Der Anteil an theoretischem Arbeiten sollte im Labor selber eher gering sein. Schreib-/Auswertetätigkeiten direkt an der Laborbank sind aus ergonomischer Sicht nicht sinnvoll und können auf mangelnde IuK-Vernetzung in der Laborumgebung hinweisen.

Ein erhöhter Anteil an theoretischem Arbeiten an den Laborbänken kann ebenso ein Signal dafür sein, dass in der untersuchten Laborumgebung zu wenig Schreib-/Auswertplätze oder Büro-Arbeitsplätze in geeigneter Form zur Verfügung stehen. In diesem Fall müsste dann der Nutzungsgrad von Schreib-/Auswertplätzen bzw. Büro-Arbeitsplätzen sowohl insgesamt für die Laborumgebung als auch über Tagesverläufe mit der Auslastung an den Laborbänken und den durchschnittlichen Tätigkeitsanteilen daran gegenübergestellt werden.

4.1.2 Die Basiskomponenten – erweitert um Kommunikationsmerkmale

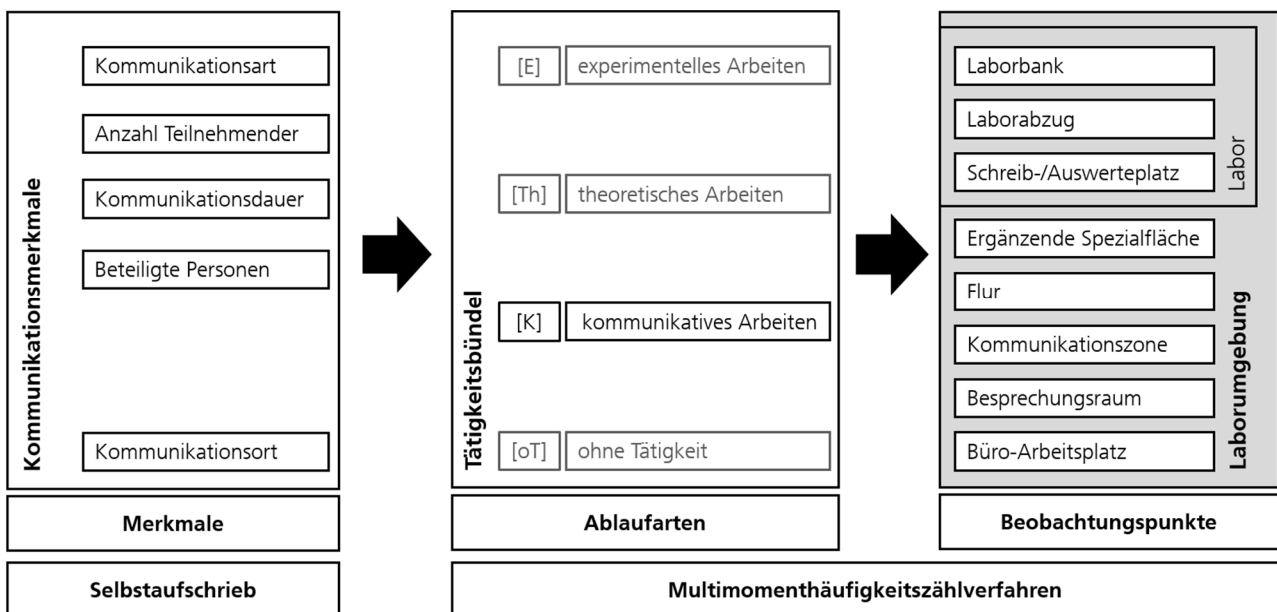


Abbildung 40: Die Basiskomponenten – erweitert um Kommunikationsmerkmale

Die Methode fokussiert neben der Tätigkeitsverteilung auch den spezifischen Charakter der Face-to-Face Kommunikation in der Laborumgebung. Um mehr Kenntnis zum Kommunikationsverhalten des Forschungspersonals in der Laborumgebung zu erhalten, wird die Methode mit der Tätigkeitsverteilung verknüpft. Diese Verknüpfung beinhaltet auch Informationen zum Kommunikationsort. Diese ergänzende Information ist wichtig, um Hinweise zu möglichen Fehlnutzungen von Räumen oder Arbeitsplätzen in der Laborumgebung zu erhalten. Fehlnutzungen können der Kommunikationsqualität selber schaden aber auch der Ausführbarkeit von eher hochkonzentrierten Tätigkeiten, wenn bspw. an einem Arbeitsort kommunikatives Arbeiten mit spezifischen Merkmalen erfolgt, die dem eigentlichen Hauptzweck des Arbeitsortes entgegenstehen. Zu diesem Zweck lassen sich Zustände mit bestimmten Messpunkten definie-

ren. Auf der anderen Seite können mit der Methode auch Hinweise zu gut geeigneten Kommunikationsorten gewonnen werden. In der Anwendung der Methode ist dabei zu beachten, dass die Kontaktpunkte vorgegeben werden im System. Freifeldantworten können aber eingereicht werden. Die Erweiterung um die Erfassung von Kommunikationsmerkmalen aktiviert die zweite Basis-Untersuchungsmethode – den Selbstaufschrieb. Auf Grund der verhältnismäßig umfangreichen Kommunikationsmerkmale ist der Aufschrieb durch die Forscherinnen und Forscher selber sinnvoll. Die webbasierte Eintragung von Kommunikationsereignissen ist leicht verständlich über eine Maske möglich. Pläne der Laborumgebung und der relevanten Kontaktpunkte lassen sich aktiv implementieren, so dass Ortseinträge direkt möglich sind.

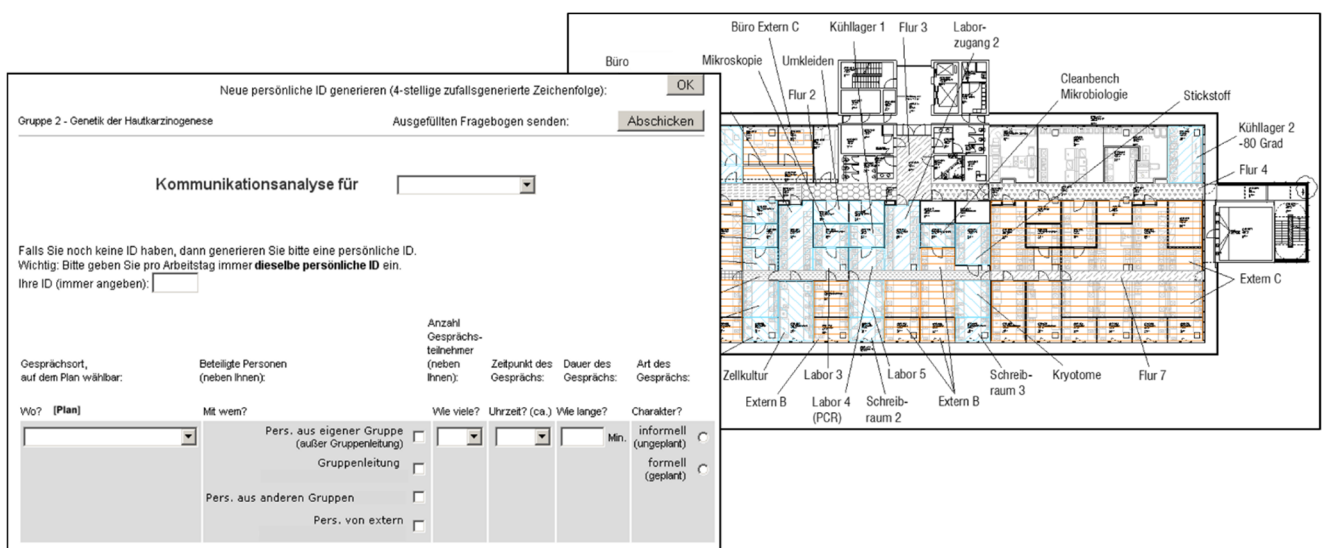


Abbildung 41: Beispiel einer webbasierten Eingabemaske für den Selbstaufschrieb von Kommunikationsereignissen

4.1.3 Qualitätsparameter Tätigkeitsspassung

Abbildung 42 zeigt das Modell zu Qualitätsparametern hinsichtlich der Tätigkeitsspassung in der Laborumgebung. Die damit verknüpften Schwellenwerte sind wichtig für die Beurteilung einer guten Nutzung der Laborumgebung im Sinne von Flächeneffizienz, Informationsfluss und Konzentrationsunterstützung. Die Schwellenwerte werden entweder spezifisch für eine Analyse festgelegt oder entwickeln sich aus einer Summe von Analysen heraus. Tabelle 5 zeigt Schwellenwerte für die Qualitätsparameter, die dort einen positiven Zusammenhang haben. Das bedeutet, dass die Werte nicht unterschritten werden sollten in diesem Beispiel. Die *kursiv* geschriebenen Werte dagegen sollten in dem Beispiel nicht *überschritten* werden.

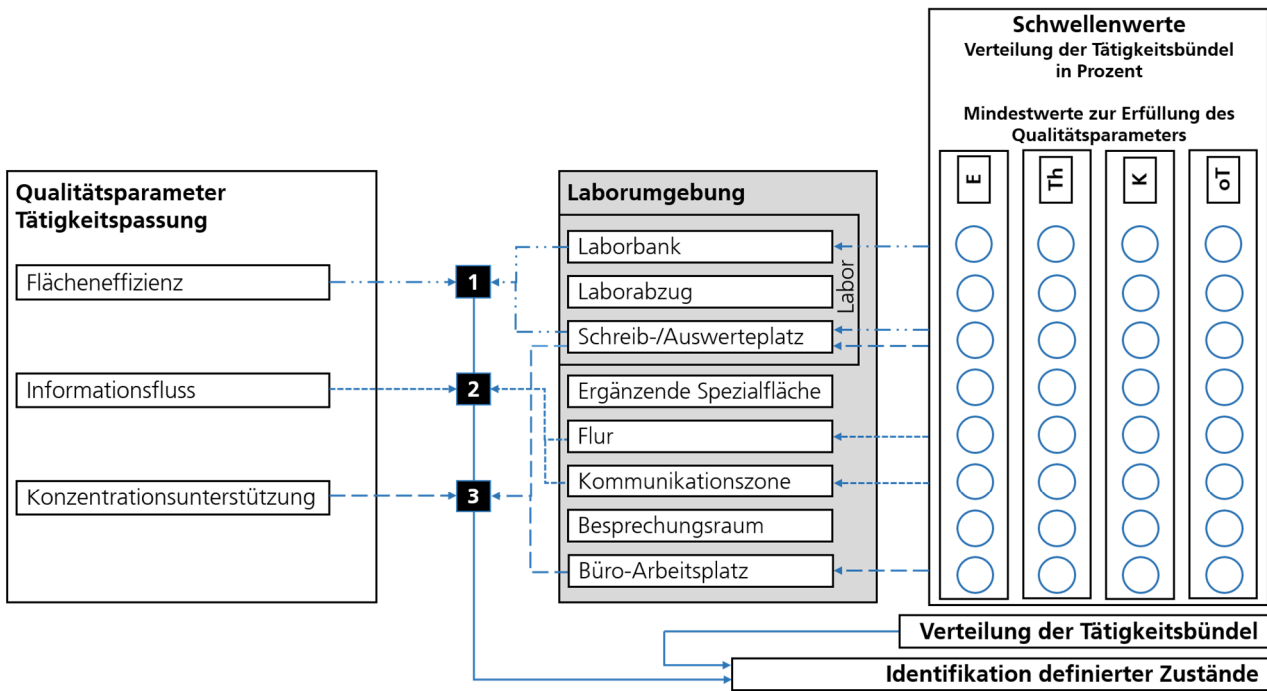


Abbildung 42: Modell zu den Qualitätsparametern – Tätigkeitspassung

Verteilung der Tätigkeitsbündel in Prozent

Qualitätsparameter	Arbeitsorte	E	Th	K	oT
1 Flächeneffizienz	Laborbank	50			
	Schreib-/Auswerteplatz		60		
2 Informationsfluss	Flur			10	
	Kommunikationszone		10	70	
3 Konzentrationsunterstützung	Schreib-/Auswerteplatz		60	10	
	Büro-Arbeitsplatz		60	20	

Tabelle 5: Beispiele für Schwellenwerte zu den Qualitätsparametern Tätigkeitspassung

4.1.4 Qualitätsparameter Kommunikation

Die Ergänzung mit den Kommunikationsmerkmalen führt zu Verknüpfungsmöglichkeiten, die Hinweise zu Kommunikationswirkungen geben. Diese Parameter können individuell bestimmt werden. Zunächst wird die Methode mit den Qualitätsparametern modellhaft gezeigt. Diese werden danach erläutert. Für die Qualitätsparameter werden Kontaktpunkte vorgegeben.

Diese sind identisch mit Arbeitsorten der Laborumgebung. Das nachfolgende Modell in Abbildung 43 enthält Abkürzungen der relevanten Kommunikationsmerkmale für die Methode. Diese Abkürzungen dienen der vereinfachten Beschreibung der Qualitätsparameter.

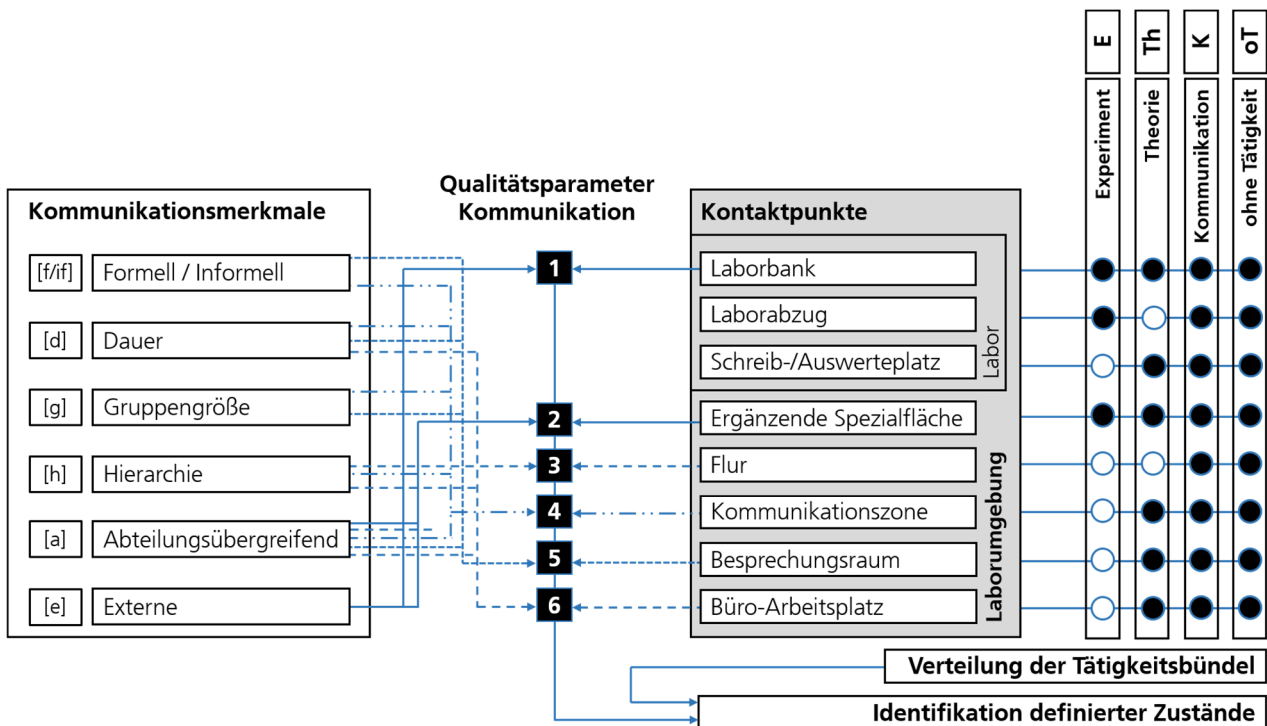


Abbildung 43: Modell zu den Qualitätsparametern – Kommunikation

Den Kontaktpunkten (vgl. Tabelle 6) werden spezifische Kommunikationsmerkmale zugewiesen. Desto eher der Kontaktpunkt originär einen kommunikativen Zweck erfüllt, desto mehr Merkmale beschreiben den Qualitätsparameter dort. Die gezeigten Parameter weisen für den genannten Kontaktpunkt und die dazugehörigen Merkmale positive Effekte für den kommunikativen Austausch an dem Ort aus.

Nachfolgend werdende die sechs Qualitätsparameter für Kommunikation erläutert:

- Am Kontaktpunkt **»Laborbank«** wird die Kommunikation unter Verwendung von **a** und **e** beschrieben. Ein hoher Anteil abteilungsübergreifender Kommunikation und/oder externer Beteiligung an der Laborbank ist ein Qualitätsparameter für einen abteilungs- und fachübergreifenden Informationsfluss.
- Am Kontaktpunkt **»ergänzende Spezialfläche«** wird die Kommunikation ebenfalls unter Verwendung von **a** und **e** beschrieben. Ein hoher Anteil abteilungsübergreifender Kommunikation und/oder externer Beteiligung bspw. in Speziallaboren ist ebenfalls ein

Parameter für einen fachübergreifenden Informationsfluss. Eine solche Anordnung und Nutzung von Speziallaboren erweitert den Austauschradius für zufällige, innovationsrelevante Kommunikationsepisoden innerhalb der eigenen Organisation und deren Forschungsgruppen oder -abteilungen.

- Am Kontaktpunkt **»Flur«** wird die Kommunikation unter Verwendung von **a, d** und **h** beschrieben. Ein hoher Anteil abteilungsübergreifender Kommunikation beschreibt den räumlichen Vernetzungsgrad außerhalb der eigenen Labororganisation. Eine hohe Begegnungsqualität, der sich per se durch ihren informellen Charakter auszeichnet, ist häufig Zielsetzung bei der Gestaltung moderner und offener Laborkonzepte. Die Beteiligung von Gruppen- oder Abteilungsleitungen sind ein wichtiger Hinweis zur Kommunikation entlang der Berichtslinie. Wird auf ähnlichem Hierarchielevel kommuniziert oder vielfach mit der eigenen Gruppen- oder Abteilungsleitung? Gewünscht ist prinzipiell ein Austausch auf gleichem oder ähnlichem Hierarchielevel. Die Dauer der Kommunikation ist ein Parameter zur Feststellung von Fehlnutzungen. Liegt die Kommunikationsdauer auf dem Flur über einem durchschnittlich informellen Wert von rund 10 Minuten¹⁹⁹, kann dies auf einen akuten Verfügbarkeitsmangel von Kommunikationszonen und Besprechungsräumen hinweisen.
- Am Kontaktpunkt **»Kommunikationszone«** wird die Kommunikation unter Verwendung von **a, d, f/if, g** und **h** beschrieben. Kommunikationszonen können ein wesentlicher Bestandteil neuer, moderner Forschungsgebäude und Laborumgebungen sein. Über den Qualitätsparameter lässt sich die Akzeptanz und Wirkung solcher Flächen innerhalb von Laborumgebungen messen. Diese können ggf. auf Basis dieser Beurteilung in Zukunft gezielter konzipiert und verortet werden.
- Im Kontaktpunkt **»Besprechungsraum«** wird die Kommunikation unter Verwendung der Kommunikationsmerkmale **a, d, f/if** und **g** beschrieben. Besprechungsflächen können ein Engpass in Laborumgebungen sein. Sie sind zugleich ein zentrales Element für geplante und formelle Kommunikationsprozesse. Ein Mangel an Besprechungsräumen kann sowohl der Prozessgeschwindigkeit entgegenstehen, als auch zur Verdrängung von Kommunikation in ungeeignete räumliche Situationen führen und dort andere wichtige Tätigkeiten, bspw. theoretisches und experimentelles Arbeiten erschweren.

¹⁹⁹ Vgl. Kraut et al. (1990), S. 18; Heinzen et al. (2018), S. 1145

- Am Kontaktpunkt **»Büro-Arbeitsplatz«** wird die Kommunikation unter Verwendung von **a, d** und **h** beschrieben. Der Büro-Arbeitsplatz in der Laborumgebung ist neben dem Schreib-/Auswertepplatz im Labor der wesentliche räumliche Baustein für alle theoretischen Arbeiten. Insbesondere in der Anzahl, Anordnung und Nutzungsform (bspw. ohne feste Arbeitsplatzzuordnung) stehen diese Flächen häufig in der Diskussion um die Weiterentwicklung neuer Laborkonzepte und sind zum Teil Gruppen- oder Abteilungsleitungen vorbehalten. Daher ist das Merkmal »Hierarchie« in dem Qualitätsparameter enthalten.

Qualitätsparameter Kommunikation

	Kontaktpunkte	Kommunikationsmerkmale	Parameter wirkt auf...
1	Laborbank	a, e	abteilungsübergreifende Kommunikation, externe Beteiligung
2	Ergänzende Spezialfläche	a, e	abteilungsübergreifende Kommunikation, externe Beteiligung
3	Flur	a, d, h	hierarchie- und abteilungsübergreifende Kommunikation
4	Kommunikationszone	a, d, f/if, g, h	Gesamtbeschreibung Kommunikation
5	Besprechungsraum	a, d, f/if, g	Gesamtbeschreibung Kommunikation
6	Büro-Arbeitsplatz	a, d, h	hierarchie- und abteilungsübergreifende /-unabhängige Kommunikation

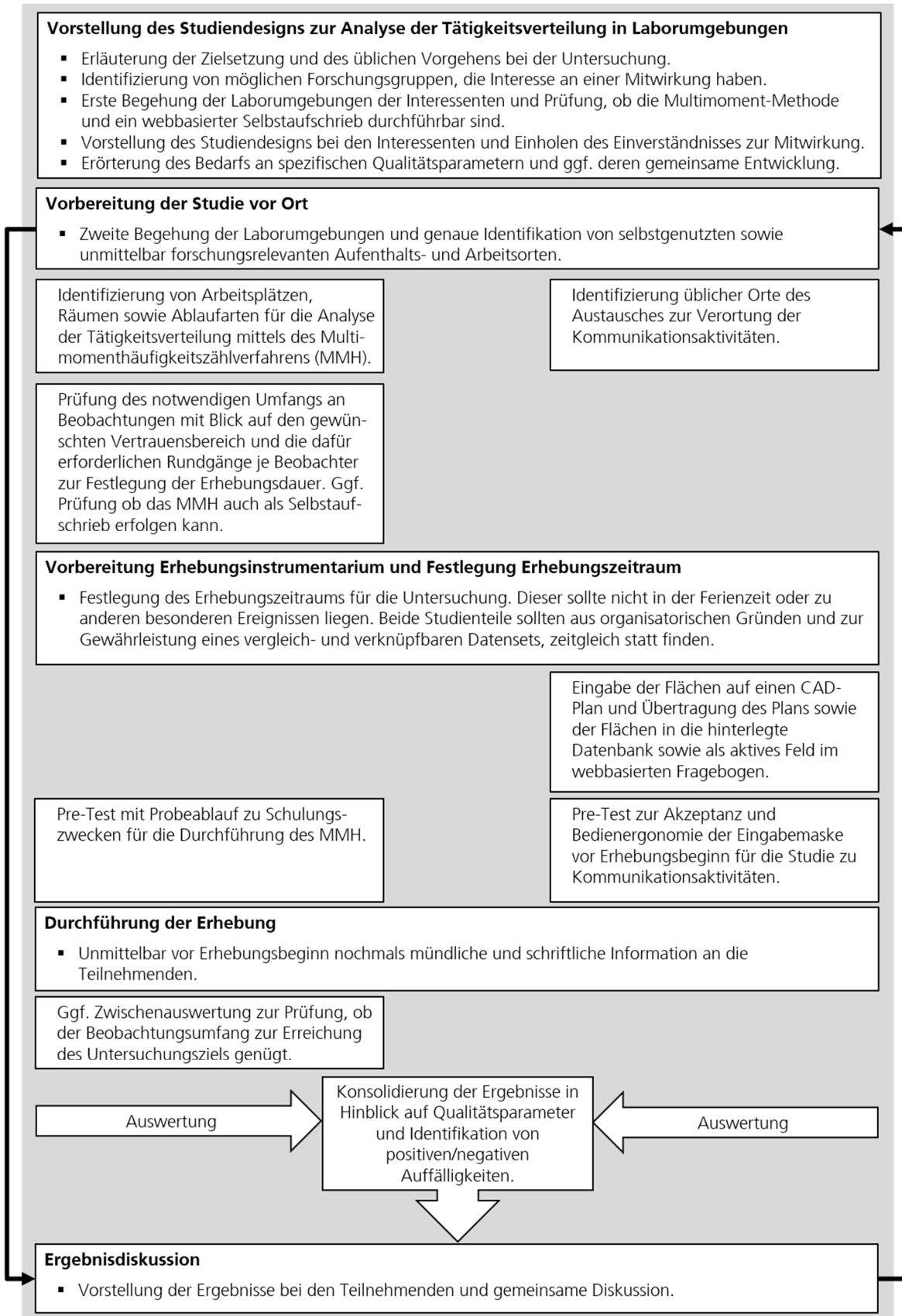
Tabelle 6: Kurzbeschreibung der Qualitätsparameter für Kommunikation

Als qualitative Bewertungsmöglichkeit ergänzt die Kommunikationsbeurteilung die quantitativen Aussagen zur Tätigkeitsverteilung in der Laborumgebung. Idealerweise werden die Erkenntnisse aus der Beurteilung als Diskussionsgrundlage mit beteiligten Forschern, Planern und

Betreibern genutzt. In der Gesamtmethode werden die Kommunikationsmerkmale in unterschiedlicher Zugehörigkeit mit den Arbeitsorten der Laborumgebung kombiniert. Diese Kombination aus Kommunikationsmerkmalen und Arbeitsplatzauslastung baut auf der durchschnittlichen Ausprägung der Kommunikationsmerkmale an den einzelnen Arbeitsorten auf und präzisiert die dort festgestellten Kommunikationsepisoden. Diese dienen einer raumbezogenen, qualitativen Beurteilung der Kommunikation in Verbindung mit Auslastungs- und Nutzungsinformation aus der Analyse der Tätigkeitsbündel. Eine adäquate Nutzung der Schreib- und Auswertepplätze wird quantitativ mittels der Tätigkeitsverteilung ermittelt. Generell soll in diesem Bereich wenig Kommunikation stattfinden. Sollte die Arbeitskultur einer zu untersuchenden Organisationseinheit die Nutzung von labornahen Schreib-/Auswertepplätzen für kommunikatives Arbeiten explizit vorsehen, kann ein entsprechender Qualitätsparameter ergänzt werden. Dieser wird insbesondere über die Merkmale **d** und **g** beurteilt.

4.2 Ablauf zur Anwendung der Methode

In der folgenden Abbildung 44 wird ein typischer Ablauf der Methodenanwendung beschrieben. Wichtig ist die rechtzeitige und umfassende Information zum Vorgehen an alle Beteiligten sowie die Erörterung des Bedarfs an spezifischen Qualitätsparametern und ggf. deren Entwicklung für den Anwendungsfall. Der Zeitrahmen der Untersuchung kann deutlich divergieren. Inklusiv Anbahnung, Vorbereitung, ggf. Parameterentwicklung, einer Erhebungsphase von zwei bis drei Wochen Dauer, Auswertung sowie Ergebnisvorstellung und -diskussion, kann der Gesamtprozess eines Untersuchungsdurchlaufs rund drei bis vier Monate in Anspruch nehmen.



Gleicher Ablauf bei vergleichender Untersuchung mit 2. Erhebungsrunde.

Abbildung 44: Vorgehensweise bei Anwendung der Methode zur Analyse der Tätigkeitsverteilung in Laborumgebungen der Lebenswissenschaften

5 Anwendung der Methode in zwei Laborumgebungen

5.1 Das Anwendungsbeispiel

Das Anwendungsbeispiel diente der Evaluation der neuen Methode. Die Anwendungsfähigkeit der Tätigkeitsanalyse mit ihrer kombinierten Methodik sollte dazu in der Praxis überprüft werden. Da mit dem Anwendungsbeispiel die Möglichkeit bestand, die Arbeitsweisen derselben Forschungsgruppe in zwei unterschiedlich gestalteten Laborumgebungen zu untersuchen, wurden zusätzliche Erkenntnisse zur Wirkungsweise von Laborumgebungen auf Tätigkeitsverteilung, -intensität und Kommunikationsverhalten erwartet. Das Anwendungsbeispiel befand sich in einem Forschungszentrum, wo Mechanismen der Krebsentstehung und Krebsrisikofaktoren erforscht werden.

5.1.1 Das Forschungsgebäude und die Laborumgebungen

Das Institut besteht aus einem Komplex mit mehreren Gebäuden, von denen das Haupthaus, erbaut Anfang der 1970er Jahre, mit rund 22.000 Quadratmeter Nutzfläche das größte Forschungsgebäude des Komplexes ist. Es war ursprünglich für rund 800 Beschäftigte vorgesehen. Diese Zahl stieg im Laufe der Jahre auf rund 1.600 an.

Das Haupthaus erfüllte nach jahrzehntelanger Betriebszeit nicht mehr die Anforderungen an zeitgemäße technische und wissenschaftliche Bedarfe. So wurde eine komplette Sanierung des Forschungsgebäudes geplant und durchgeführt. Dazu wurde es vollständig entkernt. Da das achtgeschossige Gebäude überwiegend für lebenswissenschaftliche Labore genutzt wurde und diese Funktion weiterhin Bestand haben sollte, wurde im Zuge der Sanierung ein neues Labor-konzept entwickelt und umgesetzt.

Die ursprüngliche Struktur des Gebäudes war eine Dreibundstruktur. Die Labore waren kleinteilige Räume mit je rund 35-40 Quadratmeter Fläche, die durch Leichtbauwände getrennt waren. Zwei Hauptflure fungierten als Verbindungswege auf den Etagen mit einer dunklen, dazwischenliegenden Mittelzone zur Nutzung für ergänzende Spezialflächen wie etwa Lager (vgl. Abbildung 45).

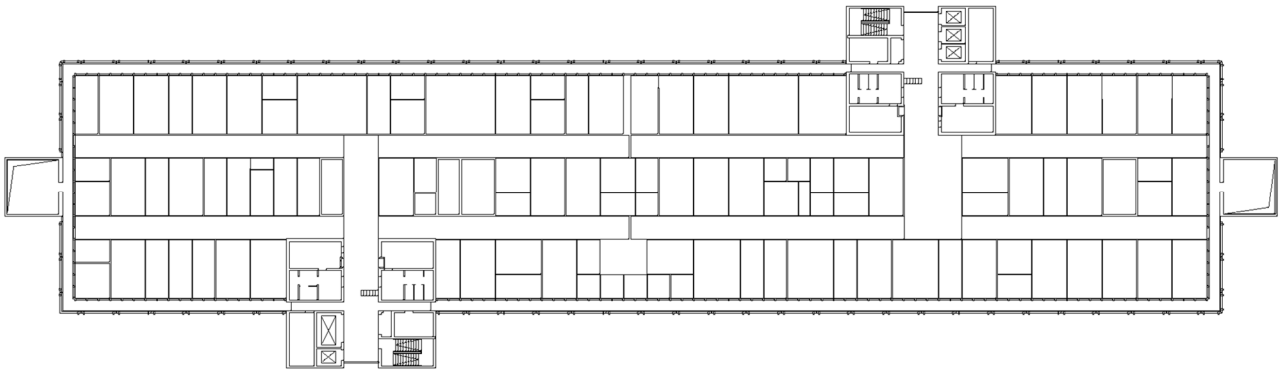


Abbildung 45: Schematischer Aufbau einer typischen (Labor-)Etage vor Sanierung²⁰⁰

Die Dreibundstruktur wurde im Rahmen der Sanierung des Gebäudes in eine faktische Zweibundstruktur umgewandelt. Die kleinteilige Laborstruktur wurde dabei zu Gunsten von transparenteren und offeneren »Multi-Space« Laborumgebungen aufgegeben. In die neuen Laborumgebungen sind ergänzende Spezialflächen (bspw. für Mikroskopie) integriert worden. Ebenso ist ein Teil des ehemaligen Hauptflurs in eine laborinterne Verkehrsfläche umgewandelt worden. Die alte Laborumgebung der Forschungsgruppe lag im Westflügel des vierten Obergeschosses. Nachdem zuerst der Ostflügel des Gebäudes saniert wurde, zog die Forschungsgruppe aus der vierten Etage des Westflügels in das fünfte Obergeschoss des Ostflügels in ihre neue Laborumgebung.

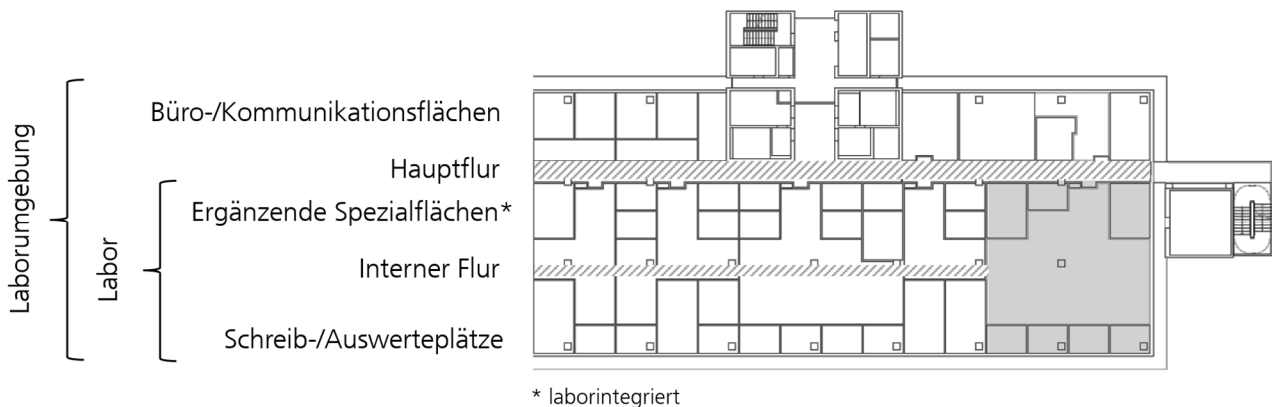


Abbildung 46: Schematischer Aufbau der neuen Laborumgebung
(graue Fläche: Lage neues Labor)

²⁰⁰ Vgl. Abbildung 10 für die Laborgestaltung in einem ähnlichen Gebäude.



Abbildung 47: Axonometrie – neues Labor (Teilbereich)²⁰¹

5.1.2 Die Forschungsgruppe

Die Untersuchung wurde mit einer Forschungsgruppe durchgeführt, die sich mit der Genetik der Hautkarzinogenese beschäftigte. Forschungsschwerpunkt der Gruppe war die Identifikation genetischer Veränderungen in Hinblick auf die Entstehung und dem Fortschreiten von Hauttumoren. Ein weiteres Forschungsfeld der Gruppe lag in der Regulation und Funktion der Telomerase, einem Enzym, dessen Aktivität für die uneingeschränkte Teilungsfähigkeit von Tumorzellen entscheidend ist. Folgende molekular- und mikrobiologische Tätigkeiten waren bestimmend für die Forschungsaktivitäten der Gruppe während der Erhebungszeiträume:

- DNA-Sequenzierung,
- Synthese und Veränderung von Proteinen,
- Zell- und Gewebekultur.

²⁰¹ Zeichnung: Dr. Heinekamp Labor- und Institutsplanung GmbH

Innerhalb der Erhebungszeiträume für beide Untersuchungen bestand die Forschungsgruppe aus einem Kern von:

- 1 Gruppenleitung,
- 6 Post-Doktorandinnen und Post-Doktoranden,
- 7 Doktorandinnen und Doktoranden,
- 3 Technische Assistenzen.

Zu der 19-köpfigen Forschungsgruppe kamen temporär anwesende cand. Bachelors, ein Auszubildender sowie ein Praktikant hinzu, so dass die Gruppengröße insgesamt bei rund 20 Personen während der Erhebungszeiträume lag.

5.2 Ergebnisse der Methodenanwendung

Im Gesamterhebungszeitraum von vier Wochen wurden mehrere Tausend Tätigkeitsbündel und Kommunikationsereignisse erfasst. Für die Methodenanwendung wurden jeweils über 60 Arbeitsplätze in den Laborumgebungen beobachtet und 19-20 Kontaktmöglichkeiten per Selbstaufschrieb hinsichtlich der dort stattfindenden Kommunikationsereignisse untersucht.

Alte Laborumgebung Analyse der Tätigkeitsverteilung I		Neue Laborumgebung Analyse der Tätigkeitsverteilung II	
Zeitraum: 2x1 Woche		Zeitraum: 2x1 Woche	
je 09:00 – 17.30 und 18:15 Uhr		je 09:00 – 17:30 und 18:15 Uhr	
Tätigkeitsverteilung	Kommunikationsmerkmale	Tätigkeitsverteilung	Kommunikationsmerkmale
▪ Beobachtete Arbeitsplätze: 65	▪ Kontaktmöglichkeiten: 19 ▪ Teilnehmendenzahl (Ø): 14	▪ Beobachtete Arbeitsplätze: 62	▪ Kontaktmöglichkeiten: 20 ▪ Teilnehmendenzahl (Ø): 12
Erfasste Ereignisse: 6.790	Erfasste Ereignisse: 1.057	Erfasste Ereignisse: 6.529	Erfasste Ereignisse: 909

Abbildung 48: Fallzahlen, Erfassungspunkte und Anzahl der Teilnehmenden

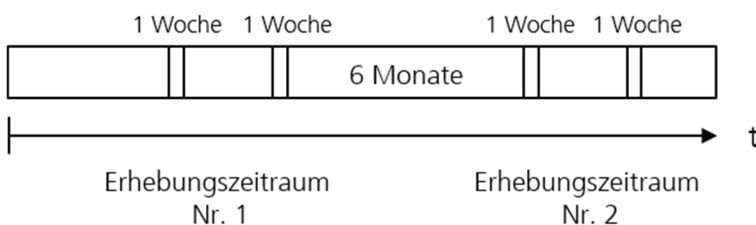


Abbildung 49: Zeitliches Ablaufschema mit beiden Erhebungszeiträumen

5.2.1 Ergebnisse der Analyse zur Tätigkeitsverteilung

In Vergleich der Ergebnisse zur Auslastung der Arbeitsplätze fiel eine 14 Prozent höhere Gesamtaktivität in der neuen Laborumgebung auf, bei rund fünf Prozent weniger Arbeitsplätzen aber auch rund 14 Prozent weniger Teilnehmenden. Die nachfolgende Tabelle 7 zeigt wesentliche Ergebnisse dazu. Die höhere Auslastung der neuen Laborumgebung wurde in nachgelagerten Gesprächen mit der Forschungsgruppe mit kürzeren Rüstzeiten bzw. Wegezeiten erklärt. Das bedeutet, dass kürzere Wegstrecken bspw. zwischen Lagern, Präparationsbereichen, Laborbänken und Sonderlaboren in der neuen Laborumgebung zurückzulegen sind. Die erhobenen Zahlen zu nicht feststellbarer Tätigkeit am Arbeitsplatz – »ohne Tätigkeit (oT)« – waren eher ausgeglichen. Das Ergebnis zu »oT« war in der alten Laborumgebung zwei Prozent höher als in der neuen Laborumgebung (nicht abgebildet).

	Alte Laborumgebung	Neue Laborumgebung	Differenz in %
Beobachtete Arbeitsplätze gesamt	65,0	62,0	- 4,6
Beobachtete Aktivität gesamt	1.191,0	1.357,0	+14,0
Aktivitäten pro Arbeitsplatz gesamt	18,3	21,9	+19,7

Tabelle 7: Auslastung der Laborumgebungen – gesamt

In der neuen Laborumgebung war ein klarer Effizienzgewinn bezogen auf die Arbeitsplatzauslastung zu verzeichnen, auch wenn man die geringere Anzahl an Arbeitsplätzen sowie die etwas höhere Dichte der neuen Laborumgebung in Betracht zog (vgl. Tabelle 8).

	Alte Laborumgebung	Neue Laborumgebung	Differenz in %
Fläche Laborumgebung <i>ohne</i> externe Räume	455,0 m ²	405,0 m ²	-11,0
Anzahl Arbeitsplätze in der Laborumgebung <i>ohne</i> externe Räume	60,0	54,0	-10,0
Anzahl Laborarbeitsplätze in der Laborumgebung inkl. Laborabzüge, Sonderlabore	34,0	32,0	-5,9
Fläche pro Arbeitsplatz In der Laborumgebung <i>ohne</i> externe Räume	7,6 m ²	7,5 m ²	-1,3

Tabelle 8: Flächenangebot, Anzahl Arbeitsplätze und Dichte in der Laborumgebung

Der Anstieg der Gesamtaktivität beruhte insbesondere auf einer deutlichen Steigerung der Kommunikationsaktivität. Der beobachtete Anstieg an kommunikativem Arbeiten machte rund die Hälfte des prozentualen Gesamtanstiegs an Aktivitäten aus. Nahm man die Kommunikationsaktivitäten aus den Ergebnissen heraus, so zeigte sich immer noch ein Aktivitätsplus von rund sechs Prozent in der neuen Laborumgebung (vgl. Abbildung 51).

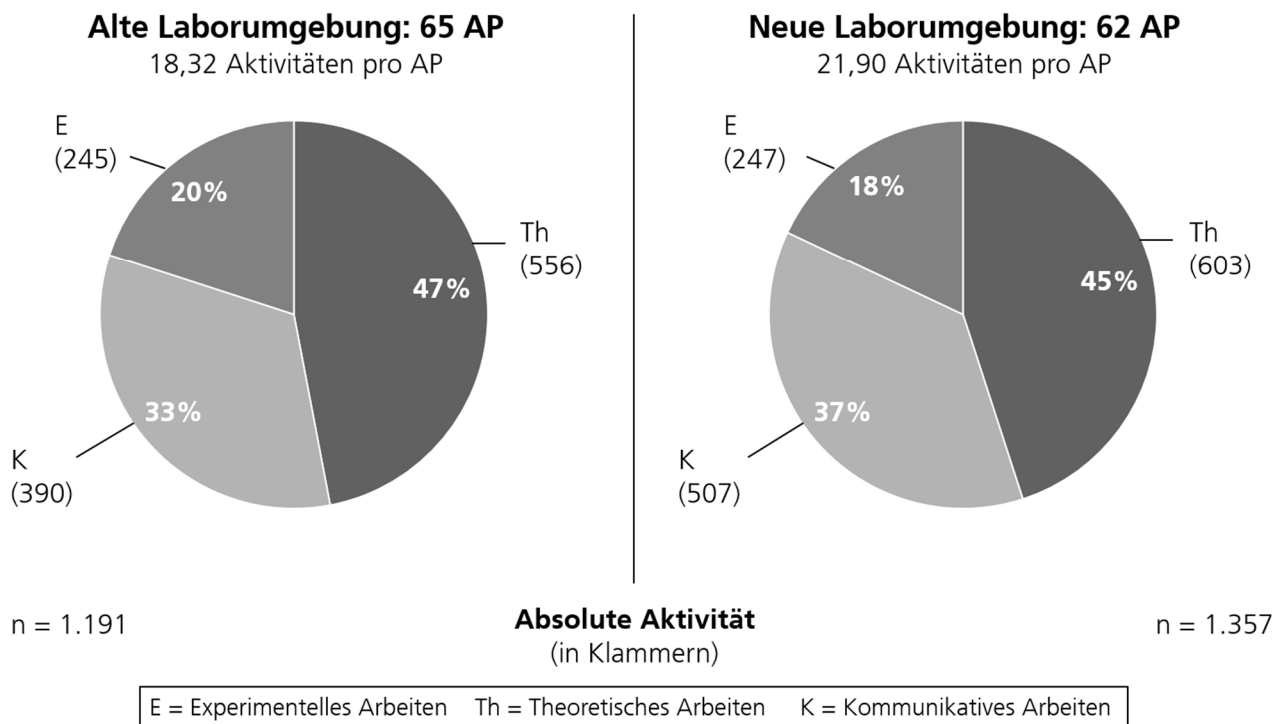


Abbildung 50: Tätigkeitsintensität im Vergleich

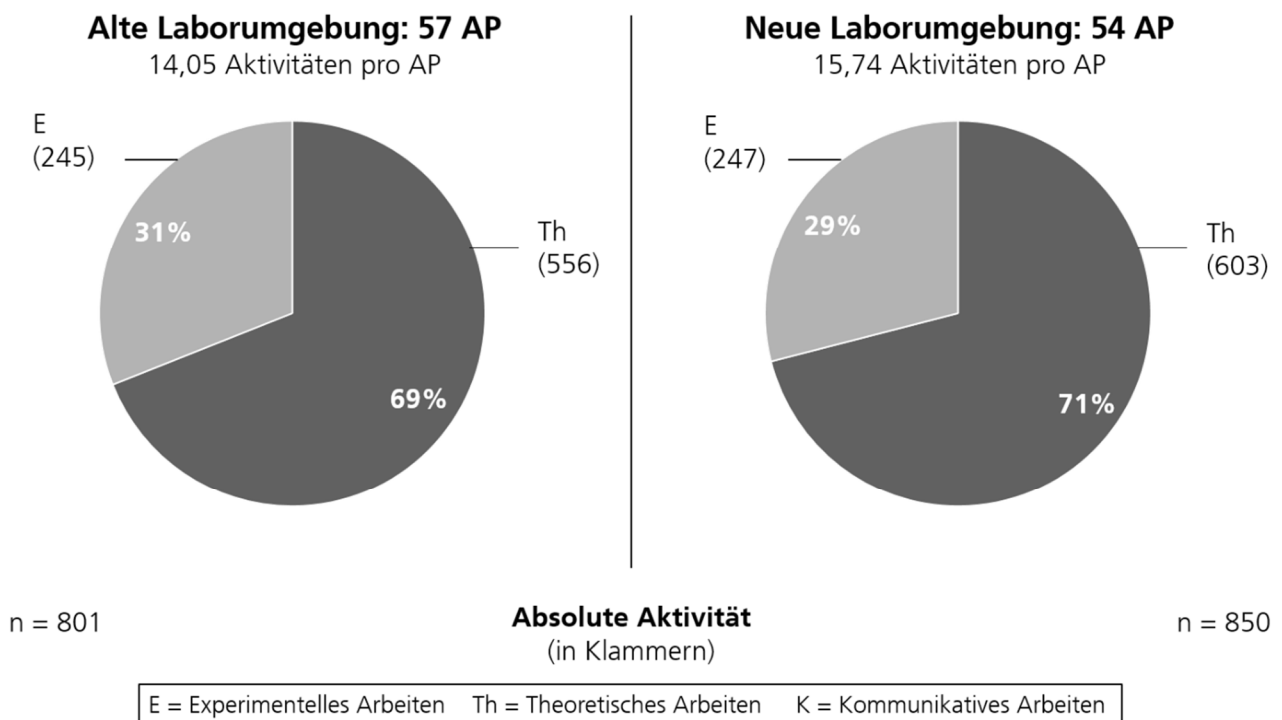


Abbildung 51: Tätigkeitsintensität ohne Kommunikation und Kommunikations-AP

5.2.2 Ergebnisse der Untersuchung von Kommunikationsereignissen

Die Ergebnisse wiesen einen leicht höheren Anteil an informellen Kommunikationsereignissen in der neuen Laborumgebung aus (vgl. Abbildung 52). Im Zusammenspiel mit dem beobachteten Kommunikationsanstieg war auch dafür die größere Nähe einzelner Arbeitsorte zueinander von Bedeutung laut der Forschungsgruppe.

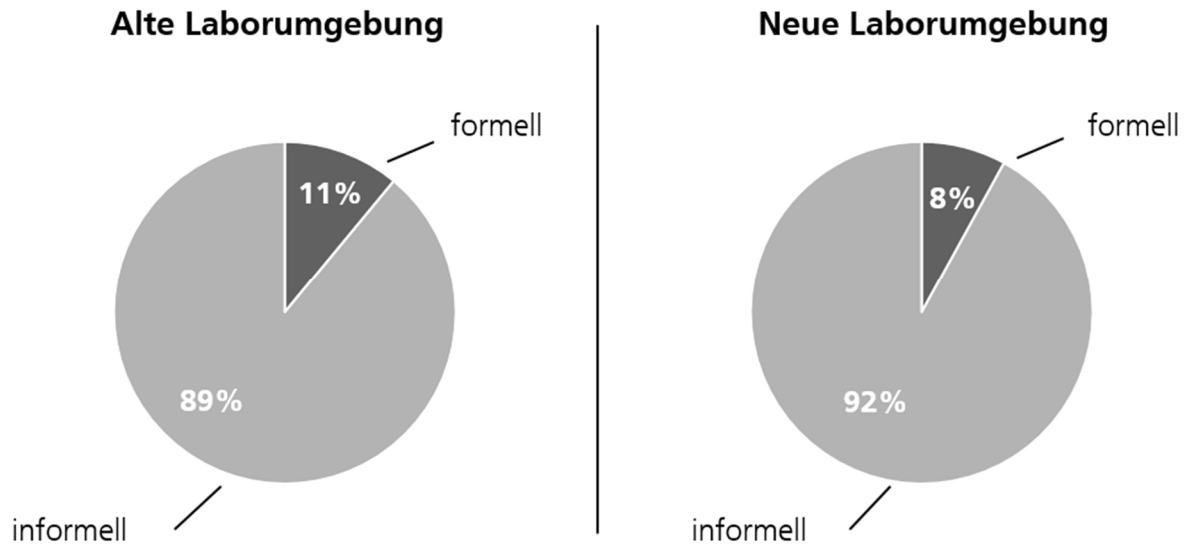


Abbildung 52: Verhältnis der Kommunikationsarten

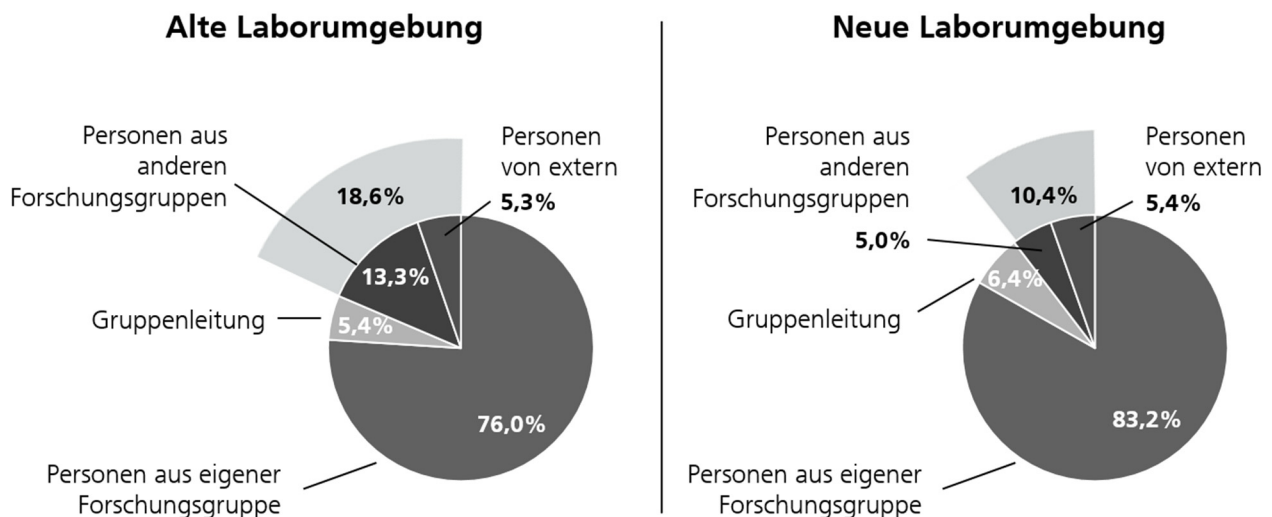


Abbildung 53: Kommunikationsbeteiligte

	Alte Laborumgebung	Neue Laborumgebung
Büro Gruppenleitung	6,0 %	4,2 %
Flure	8,7 %	4,9 %
Labor (inkl. Schreib-/Auswertepplätze)	33,5 %	40,6 %

Tabelle 9: Kommunikationsverteilung – Häufigkeit

In der neuen Laborumgebung nahm insbesondere die Kommunikationsaktivität direkt im Labor zu. In anderen Bereichen der neuen Laborumgebung war die Kommunikationshäufigkeit weniger stark ausgeprägt als in der alten Laborumgebung. Dort kam sie bspw. auf den Fluren bei den Laboren oder im Büro der Gruppenleitung häufiger vor (vgl. Tabelle 9). Mit der ergänzenden Betrachtung der Ergebnisse aus der Analyse der Tätigkeitsverteilung lässt sich erkennen, dass im neuen Labor insbesondere eine Verlagerung der Kommunikation von den Laborbänken hin zu den Schreib-/Auswertepätzen stattfand. An den Laborbänken der neuen Laborumgebung fand dagegen mehr experimentelles Arbeiten statt. Es wurde in den Nachgesprächen zu den Studienergebnissen der Bedarf geäußert, sowohl an den Laborbänken als auch an den angegliederten Schreib-/Auswertepätzen sehr konzentriert arbeiten zu können. Die verschließbaren Schreib-/Auswertepätze im neuen Labor förderten dort dagegen zunächst Kommunikationsaktivitäten. Dadurch sank der Anteil an theoretischem Arbeiten an den Schreib-/Auswertepätzen (vgl. Abbildung 55). Diese Entwicklung war von der Forschungsgruppe nicht gewünscht und wurde problematisch gesehen.

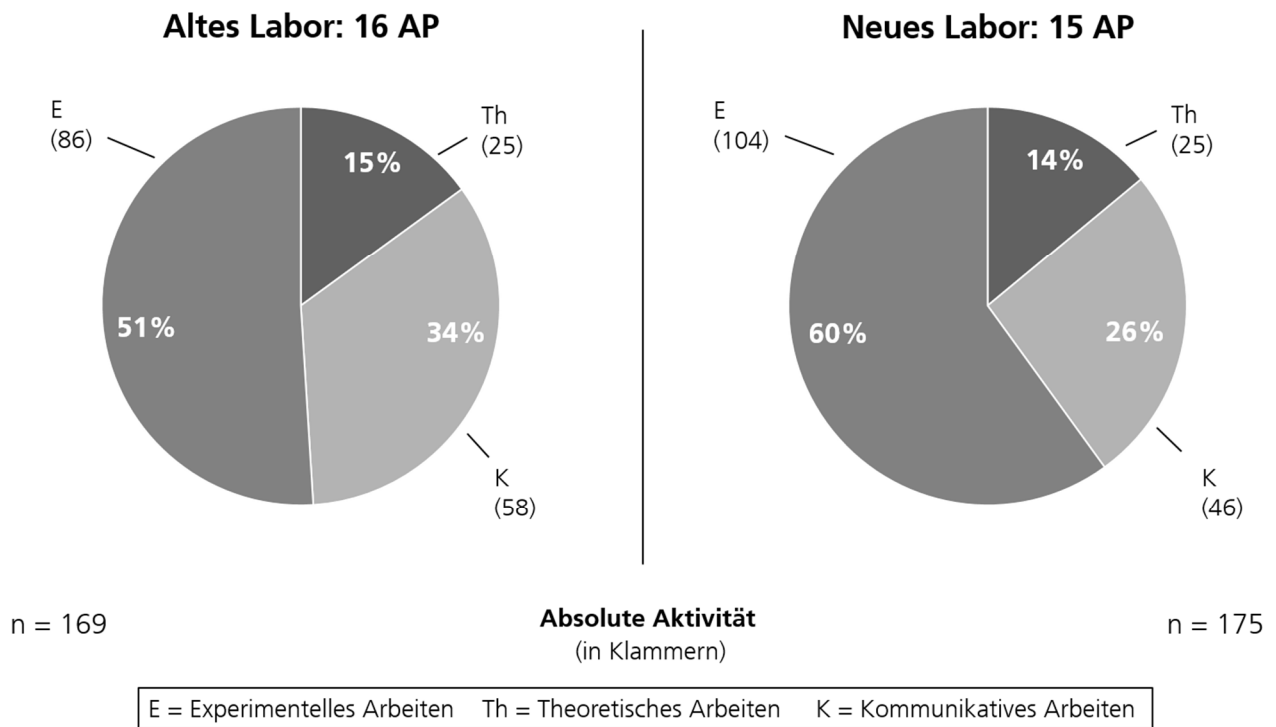


Abbildung 54: Tätigkeitsverteilung an den Laborbänken

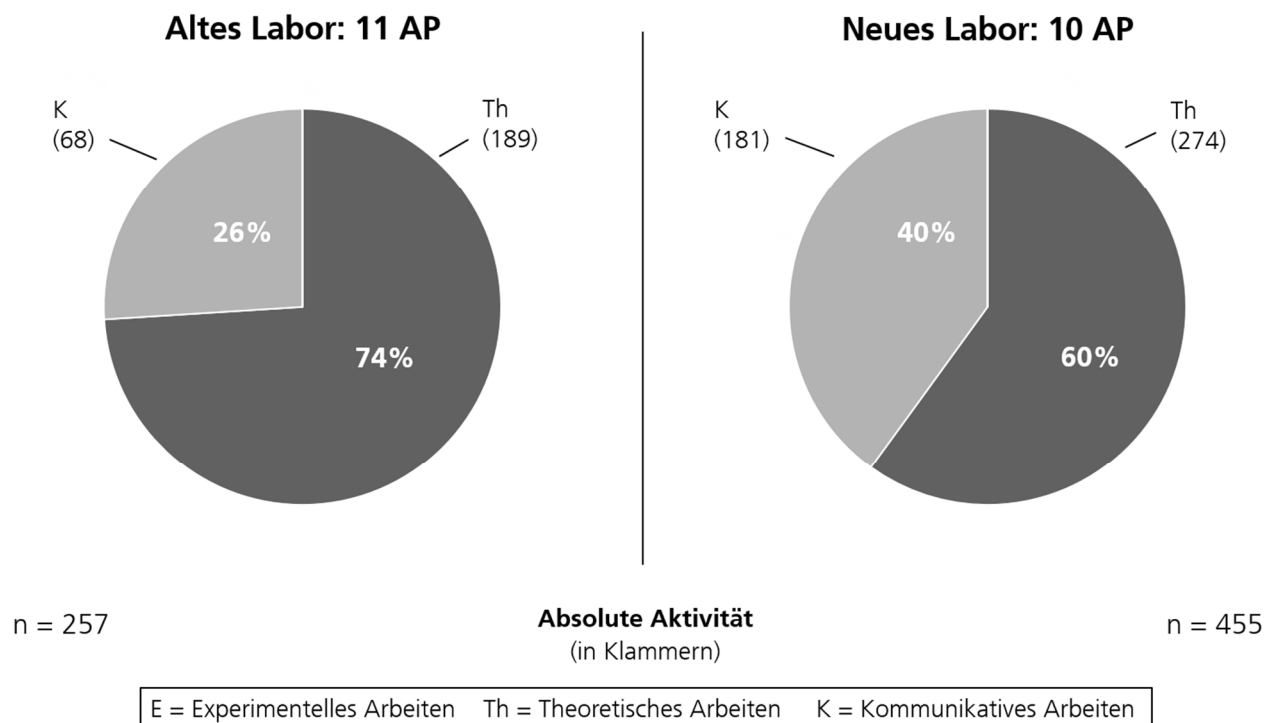


Abbildung 55: Tätigkeitsverteilung an den Schreib-/Auswertepätzen im Labor

	Altes Labor	Neues Labor	Differenz in %
Beobachtete Arbeitsplätze			
an den Laborbänken im Labor	16,0	15,0	-6,3
an den Schreib-/Auswertepätzen im Labor	11,0	10,0	-9,1
Beobachtete Gesamtaktivität			
an den Laborbänken im Labor	169,0	175,0	+3,6
an den Schreib-/Auswertepätzen im Labor	257,0	455,0	+77,0

Tabelle 10: Tätigkeitsintensität an den Laborbänken und Schreib-/Auswertepätzen

5.2.3 Zusammenfassung der Erkenntnisse aus der vergleichenden Analyse

Die Untersuchungen zeigten deutliche Nutzungs- und Auslastungsunterschiede auf.

- Es war zunächst eine verbesserte Auslastung an den Arbeitsplätzen der neuen Laborumgebung erkennbar. Ein Grund dafür war die relativ größere Nähe der Räume und Arbeitsplätze zu einander wegen der höheren Dichte (weniger Fläche pro Arbeitsplatz und Person). Für die Personen im Labor fielen somit geringere Wege- und Rüstzeiten im Rahmen ihrer Arbeit an. Ein besonderes Merkmal der höheren Auslastung ist die deutlich höhere Gesamtaktivität von insgesamt rund 14 Prozent, bei nur rund fünf Prozent weniger Arbeitsplätzen. Insbesondere eine Zunahme der Aktivitäten an den integrierten Schreib-/Auswertepätzen im neuen Labor trug zu der Steigerung bei mit 77 Prozent.
- Die Kommunikationsaktivität nahm deutlich zu. Sie lag in der neuen Laborumgebung bei 7,8 und in der alten bei 7,4 Kommunikationen pro Person/Tag. Auffällig an der stark erhöhten Kommunikationsaktivität war die Verlagerung der Kommunikation an die Schreib- und Auswertepätze des neuen Labors bei gleichzeitig geringerer Nutzung dafür im Bereich der Laborbänke oder im Flurbereich. Gleichzeitig verlagerte sich theoretisches Arbeiten von den Schreib- und Auswertepätzen im neuen Labor in externe Schreib- und Auswertebereiche. Die Steigerung der Kommunikationsaktivität hatte somit einen klaren räumlichen Fokus. So wies die Kommunikationsverteilung an den Schreib-/Auswertepätzen – als einzigem Bereich in der neuen Laborumgebung – einen insgesamt höheren Wert dazu aus als in der alten Laborumgebung. Die Kaskade an Nutzungsverlagerungen wurde von der Forschungsgruppe als Fehlnutzung bezeichnet.

Die Erkenntnisse aus dem Anwendungsbeispiel deuten auf eine bessere Nutzungseffizienz von »Multi-Space« Laborumgebungen hin, insbesondere bei experimentellem Arbeiten. Auch scheint informelle Kommunikation in einer solchen Umgebung besser unterstützt zu werden. Dabei ist allerdings die festgestellte Verlagerung von kommunikativem Arbeiten kritisch zu hinterfragen. Diesen Zusammenhang gilt es weiter arbeitswissenschaftlich zu erforschen und zu begleiten – gerade auch in Hinblick auf die weitere Entwicklung von computergestütztem, theoretischem Arbeiten in den Lebenswissenschaften. Bei den Ergebnissen des Anwendungsbeispiels sollte beachtet werden, dass es sich hier um *eine* vergleichende Methodenanwendung handelt. Die Ergebnisse lassen sich nicht ohne weiteres auf andere Laborumgebungen übertragen. Sie können jedoch für weitere Vergleiche herangezogen werden und sind prinzipiell dafür gut anwendbar. Die fallbezogene Vergleichbarkeit der Ergebnisse sollte dabei aber immer kritisch geprüft werden, mindestens solange kein größerer Informationspool mit Erkenntnissen aus entsprechenden Analysen existiert.

6 Kritische Diskussion

6.1 Methode zur Analyse der Tätigkeitsverteilung in Laborumgebungen der Lebenswissenschaften

Die Methode hat in der kombinierten Anwendung gut funktioniert. Dabei ist zu beachten, dass die Datenerhebung der Methode arbeitsteilig funktioniert. Das bedeutet eine Aufwandsteilung, die zum einen den Kapazitätsbedarf für alle Beteiligten etwas reduziert. Zum anderen konnten so Details zu Kommunikationsmerkmalen aus allen Bereichen der Laborumgebung erhoben werden, was anders nicht möglich gewesen wäre, ohne den Personaleinsatz für die Erhebung deutlich zu erhöhen.

Die online-basierte Eingabe von Kommunikationsmerkmalen hat laut der Forscherinnen und Forscher die Ergebnisse zur informellen Kommunikation etwas verfälscht, da man spontane Gespräche meist relativ schnell vergisst und wohl auch gerne kurzen Austausch von unter zwei Minuten Gesprächsdauer vermerkt hätte.

Zur Erhebung von Kommunikationsinformationen sind weitere Möglichkeiten denkbar, wie etwa Anwendungen auf Mobiltelefonen, wenn Mobiltelefone problemlos im Labor genutzt werden können. Dies wäre eine Möglichkeit Kommunikationsepisoden mindestens zeitnäher

erfassen zu können als bspw. über Desktop Computer. Reine Kontaktdaten zur Kommunikation lassen sich ebenfalls elektronisch erfassen. Denkbar für diesen Zweck ist in größeren Zusammenhängen auch die Nutzung einer Kontakt-App via Bluetooth oder NFC. Diese einsatzfähige Technologie erfüllt aber nicht immer die benötigten Anforderungen, wie bspw. Kommunikationsmerkmale zu erfassen. Das würde dann ein Gedächtnisprotokoll erfordern, indem man am Abend allen Beteiligten ihre Kommunikationsaktivitäten zukommen lässt. Eine Anwendung mit Eingabemöglichkeit würde dadurch vermutlich wieder zur besseren Wahl werden. Für die Methode zur möglichst einfachen Erfassung der Tätigkeitsverteilung scheint eine Multimoment-Untersuchung in Umgebungen mit einer hohen Tätigkeitsvielfalt und zahlreichen Arbeitsorten das Mittel der Wahl zu sein. Sie hat im Einsatz gut funktioniert. Durch sie kann ein Umfang an Arbeitsorten und Arbeitsweisen insgesamt mit überschaubarem Aufwand erhoben werden, der in dieser Größenordnung anders nicht erfasst werden könnte. Besonders zu beachten bei Anwendung der Methode zur Analyse der Tätigkeitsverteilung in der Laborumgebung sind folgende Punkte:

- Die Erfassung von »oT« (ohne Tätigkeit) sollte im Vorfeld von Untersuchungen in Laborumgebungen eine besondere Beachtung erfahren. Im Rahmen der Analyse zur Tätigkeitsverteilung werden alle Arbeitsplätze einzeln erfasst, also unter Umständen auch alle Besprechungsplätze, Arbeitsplätze in Sonderlaboren sowie bspw. auch externe Schreibplätze. Dies kann, wie im Anwendungsbeispiel, zu einem deutlichen Überhang an Arbeitsplätzen führen, was in der Untersuchung zu einem hohen Anteil an »oT« führt – bei einem Gesamtverhältnis von 20 Mitarbeitenden zu über 60 Arbeitsplätzen ist dies nicht verwunderlich. Man sollte sich bei so einer Situation vor der Untersuchung darauf verständigen, dass nur an bestimmten Arbeitsplätzen diese Ablaufart erfasst wird, dass Besprechungsräume nicht über ihre einzelnen Besprechungsplätze, sondern als Raum erfasst werden oder bestimmte Sonderlabore nicht miterfasst werden, wenn zu erwarten ist, dass diese im Erhebungszeitraum nicht belegt sind. Ansonsten kann man »oT« auch aus den erhobenen Daten herausnehmen. Der hohe Anteil an »oT« ist zum Teil den besonderen Bedingungen von Laborarbeit geschuldet. Auf der anderen Seite ist eine solche Diskrepanz auch ein Hinweis auf zu wenig gemeinsame Nutzung von Arbeitsbereichen mit anderen Forschungsgruppen – auch wenn in der Flächenbeurteilung deutlich weniger Nutzungsfläche in der neuen Laborumgebung vorhanden ist. Vergleichende Untersuchungen zu Dichte und Flächeneffizienz sollten sich daher auf

eine zusammenhängende Laborumgebung mit ähnlichen Arbeitsplätzen und einer ähnlichen Arbeitsplatzanzahl konzentrieren.

- Bezogen auf ihre Tätigkeitsbündel verändern sich natürlich auch Forschungsprojekte oder Schwerpunktarbeiten in Forschungsgruppen, die in der lebenswissenschaftlichen Forschung tätig sind. Hier gilt es in Gesprächen Veränderungen dieser Schwerpunkte herauszufiltern und in der Analyse zu berücksichtigen. Anders als in der industriellen Forschung gibt es mindestens in der öffentlichen Grundlagenforschung nicht die Möglichkeit Projektphasen und somit Tätigkeitswahrscheinlichkeiten aus einem Enterprise Resource Planning (ERP) System herauszulesen, wie dies bspw. Oeschger in seiner Untersuchung vorgenommen hat.²⁰² Eine Möglichkeit, dies zu inkludieren, wäre eine Abgleich mit den Laborbüchern der jeweiligen Forschungsgruppe. Dies setzt einerseits umfangreiche Kenntnis des Beobachtenden zu Laborarbeit voraus, zum anderen bedarf es Vertrauen der Forschungsgruppe, diese herauszugeben. Wenn sich »Elektronische Laborbücher« vermehrt durchgesetzt haben, besteht die einfachere Möglichkeit bspw. über Stichwortsuchen angewandte Methoden im Erhebungszeitraum mit den jeweiligen Tätigkeitsbündeln und der spezifischen Auslastung von Arbeitsplätzen abzugleichen.

Die Anwendung der Methode zur Tätigkeitsverteilung kann relevante Erkenntnisse zur Optimierung, Konzeption und Weiterentwicklung von Laborumgebungen liefern. Basierend auf den Erfahrungen des Anwendungsbeispiels, erscheint sie als Methode zur weiteren vergleichenden Untersuchung von Laborumgebungen gut geeignet. Der Aufwand für die Durchführung der Einzelanalysen im Anwendungsbeispiel war relativ hoch. Skaleneffekte können sich durch gesammelte Analysen und Auswertungen in Instituten oder Unternehmen ergeben, da die Vorbereitung gebündelt erfolgen kann und Erhebungen eher durch dieselben Personen durchgeführt werden können. Die Methode kann Grundlage einer breit angelegten Datensammlung zur Arbeit in lebenswissenschaftlichen Laborumgebungen sein.

²⁰² Vgl. Oeschger (2015), S. 46 ff.

6.2 Ausblick

In die Breite getragen, muss sich erst noch zeigen, wie weit sich Untersuchungen zur Tätigkeitsverteilung in Laborumgebungen so strukturiert durchführen und aufbereiten lassen, dass diese Informationen eine gute Basis für alle Planungs- und Nutzungsbeteiligte darstellen. Zukünftig kann es dazu sinnvoll sein, einen intensiveren Blick auf die räumlich-prozessualen Beziehungen insbesondere zwischen Labor- und Schreib-/Auswertepätzen zu richten, um eine bessere Zuordnung der dort vorgesehenen Tätigkeiten zu erhalten. Aktuell ist dabei auch die Situation mit Covid-19 zu beachten. Sollten sich dadurch in der lebenswissenschaftlichen Forschung auch verstärkt Bedarfe zur Nutzung eines Arbeitsplatzes daheim ergeben, wird dies insbesondere die Auslastung an den Schreib-/Auswertepätzen und den Büroarbeitsplätzen beeinflussen. Dies vermutlich nicht so stark wie in der Büroarbeit, da zumindest absehbar die Nähe zum Labor bzw. Experiment für Forscherinnen und Forscher von Bedeutung ist. Aber auch dieses wird sich zum Teil ändern, da auch langsame Fortschritte in der Informatisierung und Automatisierung von Laborarbeit den Anwesenheitsbedarf im experimentellen Kernbereich reduzieren werden. Zu der vorgenannten Entwicklung können schon jetzt genauere Betrachtungen von Tätigkeiten oder Arbeitsweisen an den Laborbänken hilfreich sein. Hier erscheinen zwei Fragestellungen besonders bedeutsam: Benötigen derzeit in Entwicklung oder Erprobung befindliche nass-präparative oder hybride Labormethoden ggf. weniger Fläche an oder auf der Laborbank? Welche Prozesse an den Laborbänken lassen sich – ggf. zunächst ohne größeren Aufwand – digital unterstützt durchführen, so dass ein breiterer Einstieg in computerbasiertes Datenmanagement sowie Vernetzung und Steuerung von Geräten mit IKT in Laborumgebungen der Lebenswissenschaften erfolgen kann? Erkenntnisgewinn zu diesen Fragen sollten mit weiteren Forschungen vorangebracht werden. Dabei gibt es auch die Möglichkeit, weg von den Tätigkeitsbündeln, die Untersuchungen bedarfsgerecht zu verfeinern. Spezifische Tätigkeiten an den Laborbänken lassen sich bspw. mit Apps erfassen, die Tätigkeitsstrukturanalysen ermöglichen. Entsprechende Fragestellungen können in der App beliebig detailliert verfasst werden. Somit lassen sich ggf. durch das Forschungspersonal selber Häufigkeiten und Merkmale von Einzeltätigkeiten im Labor erheben.

7 Zusammenfassung

Die in der vorliegenden Arbeit betrachteten Laborumgebungen beziehen sich auf Forschung und experimentelle Entwicklung der Lebenswissenschaften. Das bedeutet, dass der Begriff »Laborumgebung« hier keine standardisierten Analytik- und Qualitätssicherungslabore sowie keine Labore für industrielle Produkt- oder Anpassungsentwicklung umfasst. Der Begriff Laborumgebung beschreibt in der Arbeit den räumlichen Zusammenhang von Laboren mit Schreib-/Auswertepätzen, Sonderräumen, Laborlagern sowie Büros und Kommunikationsflächen.

Laborarbeit der Lebenswissenschaften verändert sich. Wichtige Treiber sind dabei die Informatisierung und Automatisierung von Laborarbeit, die fachübergreifende Zusammenarbeit und Kommunikation sowie der steigende Anteil an wissensbasierter, theoretischer Arbeit. Diese Erkenntnisse finden vereinzelt Erwähnung in der überschaubaren Fachliteratur zum Thema. Daher sind wichtige Aspekte dazu mit eigenen Trendstudien erarbeitet worden.

Die Auseinandersetzung mit Forschung und Praxis der Laborarbeit in den Lebenswissenschaften zeigte einen Mangel an wissenschaftlichen Erkenntnissen und Untersuchungen zu diesem Thema. Es existiert kein wissenschaftlicher Ansatz tätigkeitsbezogene Aspekte der lebenswissenschaftlichen Forschung und ihren Arbeitsorten systematisch zu untersuchen, um ein besseres Lagebild zur Arbeit im lebenswissenschaftlichen Labor zu erlangen. Eine fundierte gestalterische Auseinandersetzung mit den prognostizierten und wahrnehmbaren Veränderungen von Laborarbeit kann so kaum erfolgen. Zielsetzung der vorliegenden Arbeit ist daher die Entwicklung einer wissenschaftlichen Methode zur Analyse der Tätigkeitsverteilung in Laborumgebungen der Lebenswissenschaften, um Anhaltspunkte für mögliche Fehlnutzungen, Verdrängungseffekte sowie andere – positive und negative – Wirkungen im Spannungsfeld von Raum und Tätigkeiten zu erhalten. Die Methode ermöglicht zudem Aussagen zur Flächeneffizienz von Laborumgebungen. Sie basiert auf Grund ihrer spezifischen Anforderungen auf zwei arbeitswissenschaftlichen Untersuchungsmethoden, dem Selbstaufschrieb und der Multimomentaufnahme.

Für die Anwendung der Methode werden jeweils nass-präparative Tätigkeiten, Schreib-, Lese- und Auswertetätigkeiten sowie Kommunikationstätigkeiten gebündelt. Kommunikationstätigkeiten werden eine besondere Relevanz in der modernen Forschungsarbeit zugeschrieben. Sie

sind zudem die einzigen Tätigkeiten, die an allen Arbeitsorten in Laborumgebungen vorkommen. Als weitere Anwendung lässt die Methode daher eine Beurteilung der Qualität des raumbezogenen Informationsflusses und der tätigkeitsadäquaten Nutzung der Arbeitsorte in der Laborumgebung mittels eigener Qualitätsparameter für Kommunikation zu. Dies funktioniert zum einen über die Verknüpfung der Analyse zur Tätigkeitsverteilung mit der Erfassung der Kommunikationsmerkmale sowie der Definitionsmöglichkeit von spezifischen Merkmalkombinationen. Diese Merkmale sind bspw. die Anzahl der Teilnehmenden an Kommunikationsergebnissen oder der abteilungsübergreifende Austausch. Die Qualitätsparameter zur tätigkeitsadäquaten Nutzung der Laborumgebung speisen sich dagegen aus der Kombination von Anteilen der Tätigkeitsbündel.

In der praktischen Anwendung der Methode wird deutlich, dass die wissenschaftliche Herangehensweise gerade bei Einzeluntersuchungen einen gewissen Aufwand erfordert. Die Methode zeigte aber einen guten Praxisnutzen – insbesondere bei einer vergleichenden Untersuchung wie im Anwendungsbeispiel. So wurden durch die Vergleichsmöglichkeit sowohl Vorteile der effizienten Flächennutzung einer modernen »Multi-Space« Laborumgebung sichtbar, als auch die dadurch bedingten Schwierigkeiten hinsichtlich der Verdrängung raumtypischer Arbeitsweisen in dichteren räumlichen Funktionszusammenhängen.

Die Methode erscheint gut geeignet, um über eine Anwendung in der Breite, zu einem wertvollen Datenfundus für die Optimierung, Konzeption und generelle Weiterentwicklung von Laborumgebungen beizutragen. Die Arbeit kann also einen wichtigen Beitrag zu einem besseren Lagebild von Laborarbeit und Laborumgebungen der Lebenswissenschaften leisten und möchte weitere Forschung zu dem Thema unterstützen.

8 Abstract

The laboratory environments considered in this thesis refer to research and experimental development in the life sciences. This means that the term laboratory environment does not include standardized analytical and quality assurance laboratories and excludes laboratories for industrial adaptation or product development. The term »laboratory environment« refers to the immediate spatial context of laboratories, write-up spaces, special labs, laboratory storage facilities, offices, meeting rooms and communication areas.

Laboratory environments for the life sciences are changing. Important drivers are the mechanization of research processes, interdisciplinary collaboration and communication, and the increasing proportion of knowledge-based, theoretical work. These findings are only occasionally presented in the limited literature on the subject. Therefore, important aspects of the topics above have been investigated for this thesis by means of an exclusive survey.

There is no scientific approach to systematically investigate space and process related aspects of life science research in the laboratory and to create a better, evidence-based platform for laboratory design. A well-founded design reaction to the predicted and perceptible changes in laboratory work can hardly be done with these prerequisites.

Therefore, the aim of this thesis is to develop a method for the analysis of activity distribution in laboratory environments of the life sciences. For this purpose, typical activities of life science research have been clustered into working methods. These methods are experimental work, theoretical work and communicative work.

Experimental work in the laboratory consists of manual, wet-preparative activities including the use of small equipment on the laboratory bench. This working method is a constitutive feature of life science research and takes place in the laboratory. Theoretical work is essentially computer-supported and includes topics such as method and process development, data interpretation, source research, writing research reports and scientific articles as well as the laboratory journal. These tasks are usually performed at a write-up place or in an office. Communicative work in the laboratory includes, for example, the coordination of research projects and topics, financing issues, scientific lectures, discussions about methods and results as well as informal exchange. Due to the importance of communication in research, it takes place to a varying extent and character at all workspaces in the laboratory environment.

The method developed in this thesis is based on two methods of investigation, self-recording and activity sampling. With this method the distribution of working methods and the locations of their execution in the laboratory environment can be examined, as well as the intensity of activities in the laboratory environment. Information regarding space efficiency can be gained by combining the recorded working methods with the number of workplaces or the space available in the laboratory environment. Additionally, this outcome can be used for evaluating laboratory environments with different design approaches. The method furthermore allows an assessment of the quality of information flow in relation to space and lab design. This is done by linking the analysis of the activity distribution with the recording of communication features.

In the practical application of the method it becomes clear that the scientific approach requires a certain amount of effort but, if scaled appropriately, is well associated with a practical benefit, especially in a comparative analysis. In the application example advantages of the spatial efficiency of a modern »multi-space« laboratory became visible. It also became apparent that the design of the »multi-space« laboratory caused difficulties regarding the displacement of typical working methods from their designated workspaces because of the denser spatial and functional layout of the laboratory landscape.

All in all, the lack of scientific knowledge regarding laboratory environments and the activities taking place in them surprised the author during his examination of the topic. Therefore, it is also the aim of this thesis to contribute to a clearer picture of laboratory work and design as well as supporting further research on the topic.

9 Literaturverzeichnis

- acatech (Hrsg.): Innovationspotenziale der Biotechnologie. München: Utz, 2017
- Albers, Sönke; Klapper, Daniel; Konradt, Udo; Walter, Achim; Wolf, Joachim (Hrsg.): Methodik der empirischen Forschung. 3. Auflage. Wiesbaden: Springer Gabler, 2009
- Arbeitsstättenverordnung (ArbStättV). Ausgabe: 12.08.2004, zuletzt geändert durch Art. 226 VO vom 19. Juni 2020
- Atteslander, Peter: Methoden der empirischen Sozialforschung. 13. Auflage. Berlin: Erich Schmidt, 2010
- Atteslander, Peter; Knopp, Manfred: Befragung. In: Roth, Erwin (Hrsg.): Sozialwissenschaftliche Methoden. 2. Auflage. München, Wien: Oldenbourg, 1987, S. 144-172
- Austerjost, Jonas; Porr, Marc; Riedel, Noah; Geier, Dominik; Becker, Thomas; Scheper, Thomas; Marquard, Daniel; Lindner, Patrick; Beutel, Sascha: Introducing a Virtual Assistant to the Lab: A Voice User Interface for the Intuitive Control of Laboratory Instruments. In: SLAS Technology 23 (2018), S. 476-482
- Baade, Ulrike: Laboreinrichtungen – Rahmenbedingungen und Planung. In: Moeller Elvira (Hrsg.): Praxislösungen Laborleiter (Bd. 1). Kissing: Weka Media, Kapitel 2.2, 2006, S. 1-44
- Bauer, Wilhelm; Castor, Jörg; Juergens, Kai: Innovative Konzepte für das Labor – Laborarbeit im Wandel. In: GIT Labor-Fachzeitschrift 50 (2006) Nr. 7, S. 614-616
- Behnke, Till; Schwabe, Thomas; Dillenkofer, Sinje: Universität Konstanz – Zentrum für Chemische Biologie, Schnittstelle für interdisziplinäre Forschungsarbeit. In: Forschungs- und Laborbauten. Berlin: Ernst & Sohn, 04/2014, S. 41-45
- BioCon Valley GmbH (Hrsg.): Branchenreport 01-2008, Life Science in Mecklenburg-Vorpommern. Greifswald: Biocon Valley GmbH, 2008
- Biostoffverordnung (BioStoffV). Ausgabe: 15.07.2013 idF vom 29.03.2017. Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei Tätigkeiten mit Biologischen Arbeitsstoffen
- Birnbaum, Ulf; Kauert, Bernd; Kleemann, Manfred; Schiller, Heiko; Gabrysch, Karsten; Göttische, Joachim; Schwarzer, Klemens: Leitfaden für die energetische Sanierung von Laboratorien. Jülich: Forschungszentrum Jülich GmbH, 2007. [Online]. [Zugriff am 27.01.2019]. Verfügbar unter: http://www.buildup.eu/sites/default/files/content/Leitfaden_LABSAN.pdf

- BKI Baukosteninformationszentrum (Hrsg.): BKI Baukosten 2019 Neubau. Statistische Kostenwerte für Gebäude. Stuttgart: BKI, 2019
- Born, Tino: Ist der Passivhausstandard bei Laborbauten wirtschaftlich zu rechtfertigen? In: Forschungs- und Laborbauten. Berlin: Ernst & Sohn, 2014, S. 30-31
- Bokranz, Rainer; Landau, Kurt: Einführung in die Arbeitswissenschaft: Analyse und Gestaltung von Arbeitssystemen. Stuttgart: Ulmer, 1991
- Bortz, Jürgen; Döring, Nicola: Forschungsmethoden und Evaluation für Human- und Sozialwissenschaftler. 4. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer, 2006
- Boutellier, Roman; Ullman, Frederik; Schreiber, Jürg; Naef, Reto: Impact of Office Layout on Communication in a Science-Driven Business. In: R&D Management 38 (2008) Nr. 4, S. 372-391
- Brendel, Alexander; Kraus, Patrick: Software für effizientes Labormanagement. Datenhandling und Geräteintegration in Zeiten von Labor 4.0. In: GIT Labor-Fachzeitschrift 63 (2019) Nr. 1, S. 34-36
- Bullinger, Hans-Jörg: Das Labor der Zukunft. In: GIT Labor-Fachzeitschrift 50 (2006) Nr. 7, S. 601
- Bullinger, Hans-Jörg (Hrsg.): Arbeitsgestaltung: Personalorientierte Gestaltung marktgerechter Arbeitssysteme. Stuttgart: Teubner, 1995
- Bundesagentur für Arbeit Statistik (Hrsg.): Beschäftigte nach Wirtschaftszweigen (WZ 2008) (Quartalszahlen), Stichtag: 31. Dezember 2018. Nürnberg, 10.07.2019. [Online]. [Zugriff am 02.08.2020]. Verfügbar unter: <https://statistik.arbeitsagentur.de/Navigation/Statistik/Statistik-nach-Themen/Beschaeftigung/Beschaeftigte/Beschaeftigte-Nav.html>
- Bundesministerium für Bildung und Forschung (Hrsg.): Lebenswissen. Berlin, 2001
- Bundesministerium für Bildung und Forschung (Hrsg.): Die deutsche Biotechnologiebranche 2009. Berlin, 2009
- Bundesministerium für Bildung und Forschung (Hrsg.): Innovation durch Biotechnologie. Zehn Jahre KMU-innovativ: Biotechnologie – BioChance. Berlin, 2017. [Online]. [Zugriff am 30. 05.2018]. Verfügbar unter: https://www.bmbf.de/pub/Innovation_durch_Biotechnologie.pdf
- Bundesverband der Pharmazeutischen Industrie e. V. (BPI) (Hrsg.): Pharma-Daten 2017. 47. überarbeitete Auflage. Berlin, 2017. [Online]. [Zugriff am 22.10.2018]. Verfügbar unter: <https://www.bpi.de/daten-und-fakten/pharmadaten/>

- Castor, Jörg: Automatisierung im Labor – Status Quo und Perspektiven. In: *Laborwelt* 7 (2006) Nr. 1, S. 36-39
- Castor, Jörg: Changing Laboratory Worlds. In: *BioWorld Europe* (2006a) Nr. 1, S. 2-6
- Castor, Jörg: Lab Work in Flux – An enquiry into today's activity clusters and changes in lab work. In: *BioWorld Europe* (2007) Nr. 3, S. 38-40
- Castor, Jörg: Frischzellenkur für das Labor – Neue Gestaltungsideen für Laborarbeit im Wandel. In: *labor&more* 01/2008, S. 26-27
- Charpentier, Emmanuelle et al.: A Programmable Dual-RNA–Guided DNA Endonuclease in Adaptive Bacterial Immunity. In: *Science* 337 (2012) Nr. 6096, S. 816-821
- Cong, Le et al.: Multiplex Genome Engineering Using CRISPR/Cas Systems. In: *Science* 339 (2013) Nr. 6121, S. 819-823
- Coradi, Annina; Heinzen, Mareike; Boutellier, Roman: A Longitudinal Study of Workspace Design for Knowledge Exploration and Exploitation in the Research and Development Process. In: *creativity and innovation management* 24 (2015) Nr. 1, S. 55-71
- Cordes, Sabine; Holzkamm Ingo: *Forschungszentren und Laborgebäude*. Hannover: HIS, 2007
- Dahan, Fernand W.: *Laboratories: A Guide to Planning, Programming, and Design*. New York: W. W. Norton & Co, 2000
- Daxer, Marc Andre; Traube, Andreas: Das smarte Labor der Zukunft. Ein disruptiver Wandel. In: *GIT Labor-Fachzeitschrift* 61 (2017) Nr. 2, S. 16-20
- Deubzer, Hannelore: *Baukultur*. In: Braun, Hardo; Grömling, Dieter (Hrsg.): *Forschungs- und Technologiebau*. Basel, Berlin, Boston: Birkhäuser, 2005, S. 16-20
- Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (Hrsg.): *Sicheres Arbeiten in Laboratorien – Grundlagen u. Handlungshilfen: DGUV Information 213-850*. 3. Aufl. Heidelberg: Jedermann, 2020
- Deutsche Industrievereinigung Biotechnologie im Verband der Chemischen Industrie e. V. (Hrsg.). *Statistik Biotechnologie 2019*. Frankfurt am Main, 2019. [Online]. [Zugriff am 03.02.2020]. Verfügbar unter: <https://www.vci.de/dib/die-branchen/statistik/statistik-1.jsp>
- Diekmann, Andreas: *Empirische Sozialforschung – Grundlagen, Methoden, Anwendungen, vollständig überarbeitete, erweiterte Neuauflage*. Reinbek: Rowohlt, 2007
- Dittrich, Egbert: Laboratory Casework and Installations. In: Dittrich, Egbert (Hrsg.): *The Sustainable Laboratory Handbook*. Weinheim: Wiley, 2015, S. 195-240
- Döring, Nicola; Bortz, Jürgen: *Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften*. 5. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer, 2016

- Dr. Heinekamp Labor- und Institutsplanung GmbH (Hrsg.): 10 Jahre – Planungs- und Projektbuch zum 10-jährigen Bestehen des Unternehmens. Karlsfeld: Eigenverlag, 2007
- Eggelkraut-Gottanka, Thomas von: Kommunikation in Forschung und Entwicklung, Konzeption, Messung und empirische Analyse. Wiesbaden: Springer Gabler, 2010
- Eichler, Jürgen: Der Arbeitsplatz im Laboratorium. In: Braun, Hardo; Grömling, Dieter (Hrsg.): Forschungs- und Technologiebau. Basel, Berlin, Boston: Birkhäuser, 2005, S. 53-55
- Endres, Christian; Lindner, Patrick; Beutel, Sascha: Flexibel, funktionell und digital. In: Nachrichten aus der Chemie 64 (2016) Nr. 4, S. 428-430
- Ernst & Young GmbH (Hrsg.): Zahlensprünge – Deutscher Biotechnologie-Report 2019. Mannheim, 2019
- Expertenkommission Forschung und Entwicklung (EFI) (Hrsg.): Gutachten zu Forschung, Innovation und Technologischer Leistungsfähigkeit. Berlin, 2008.
- Expertenkommission Forschung und Entwicklung (EFI) (Hrsg.): Gutachten zu Forschung, Innovation und Technologischer Leistungsfähigkeit. Berlin, 2018
- Förderkreis Industrie- und Technikgeschichte e. V. (Hrsg.): Von Systemen in der Natur. Frankfurt am Main, 2003. [Online]. [Zugriff am 20.11.2018]. Verfügbar unter: https://archiv.fitg.de/fitg_deutsch/aktiv/achema_2003/a82.html
- Friedrichs, Steffi; van Beuzekom, Brigitte: Revised proposal for the revision of the statistical definitions of biotechnology and nanotechnology. OECD Science, Technology and Industry Working Papers. Paris: OECD Publishing, 2018. [Online]. [Zugriff am 06.01.2020]. Verfügbar unter: <https://www.oecd-ilibrary.org/docserver/085e0151-en.pdf?expires=1578268168&id=id&accname=guest&checksum=6CD990F854DD82DBC649C5509AB06358>
- Gachowetz, Helmut: Feldforschung. In: Roth, Erwin (Hrsg.): Sozialwissenschaftliche Methoden. 2. Auflage. München, Wien: Oldenbourg, 1987, S. 255-276
- Gentechnik-Sicherheitsverordnung (GenTSV). Ausgabe: 14.03.1995 idF vom 15.08.2019. Verordnung über die Sicherheitsstufen und Sicherheitsmaßnahmen bei gentechnischen Arbeiten in gentechnischen Anlagen
- Griffin, Brian: Laboratory Design Guide. 3rd Edition. Oxford: Architectural Press, 2005
- Grömling, Dieter: Die Planungsparameter Standort, Nutzung und Typus. In: Braun, Hardo; Grömling, Dieter (Hrsg.): Forschungs- und Technologiebau. Basel, Berlin, Boston: Birkhäuser, 2005, S. 36-52
- Grömling, Dieter: Typologie von Forschungsbauten. In: Detail 50 (2010) Nr. 9, S. 866-875

- Hammes, Markus: Space for Communication in the Laboratory Building. In: Dittrich, Egbert (Hrsg.): The Sustainable Laboratory Handbook. Weinheim: Wiley, 2015, S. 55-62
- Hauer, Florian: Vernetzt in die smarte Zukunft. Smarte Technologien für Laboranwendungen nutzen. In: Labor Praxis 39 (2015) Nr. 9, S. 28-30
- Hegger, Manfred: Räumliche und technische Anforderungen an Forschungsbauten. In: Braun, Hardo; Grömling, Dieter (Hrsg.): Forschungs- und Technologiebau. Basel, Berlin, Boston: Birkhäuser, 2005, S. 28-32
- Heinekamp, Christoph: Laboratory Concepts and Workstations. In: Dittrich, Egbert (Hrsg.): The Sustainable Laboratory Handbook. Weinheim: Wiley, 2015, S.21-29
- Heinzen, Mareike; Cacciatori, Eugenia; Zoller, Frank A.; Boutellier, Roman: Who talks to whom about what? How interdisciplinary communication and knowledge of expertise distribution improve in integrated R&D labs. In: Ergonomics: an international journal of research and practice in human factors and ergonomics 61 (2018), S. 1139-1153
- Higginbotham, Julie S.: What do researchers want from laboratories? In: Reed Business Information (Hrsg.): 2005 Lab Design Handbook. New York: Elsevier, 2004, S. 7-11
- Hollaender, Kirsten: Interdisziplinäre Forschung. Merkmale, Einflußfaktoren und Effekte. Köln, Univ., Diss., 2003. [Online]. [Zugriff am 12.02.2020]. Verfügbar unter: <https://kups.ub.uni-koeln.de/1657/>
- Hube, Gerhard: Beitrag zur Beschreibung und Analyse von Wissensarbeit. Heimsheim: Jost Jetter, 2005. Zugl.: Stuttgart, Univ., Diss., 2005
- Huber, Oswald: Beobachtung. In: Roth, Erwin (Hrsg.): Sozialwissenschaftliche Methoden. 2. Auflage. München, Wien: Oldenbourg, 1987, S. 124-143
- Kelter, Jörg: Entwicklung einer Planungssystematik zur Gestaltung der räumlich-organisatorischen Büroumwelt. Heimsheim: Jost Jetter, 2002. Zugl.: Stuttgart, Univ., Diss., 2002
- Ken-En Gan, Samuel; Poon, Jun-Kai: The world of biomedical apps: their uses, limitations, and potential. In: Springer Open 2:6 (2016), S. 1-7
- Kleeberg, Julius: Eide und Bekenntnisse in der Medizin. Basel: Karger, 1979, S. 54-59
- Knissel, Jens: Energieeffiziente Büro- und Verwaltungsgebäude, Hinweise zur primärenergetischen und wirtschaftlichen Optimierung. Darmstadt: Institut Wohnen und Umwelt, 1999
- Knorr Cetina, Karin: Laboratory Studies – The Cultural Approach to the Study of Science. In: Jasanoff, S. et al. (Hrsg.): Handbook of Science and Technology Studies. Thousand Oaks, London, New Dehli: Sage, 1995

- Kohler, Robert E.: Lab History: Reflections. In: Isis 99 (2008) Nr. 4, S. 761-768
- Kraut, Robert E.; Fish, Robert S.; Root, Robert W.; Chalfonte, Barbara L.: Informal Communication in Organizations: Form, Function, and Technology. In: Oskamp I. S.; Spacapan, S. (Hrsg.) Human Reactions to Technology: The Claremont Symposium on Applied Social Psychology. Beverly Hills: Sage Publications, 1990. [Online]. [Zugriff am 20.08.2020]. Verfügbar unter: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.59.9721>
- Kuchenbecker, Gerd: Ein Labor für morgen – Entwicklung eines wandlungsfähigen Labors und seine Planungsmethodik. Norderstedt: Books on Demand, 2008
- Latour, Bruno; Woolgar, Steve: Laboratory Life – The Construction of Scientific Facts. 2nd Edition. Princeton: Princeton University Press, 1986
- Levi, Daniel; Slem, Charles: Team work in research and development organizations: The characteristics of successful teams. In: International Journal of Industrial Ergonomics 16 (1995) Nr. 1, S. 29-42
- Liu, Hui; Stoll, Norbert; Junginger, Steffen; Thurow, Kerstin: Mobile Robot for Life Science Automation. In: International Journal of Advanced Robotic Systems 10 (2013), Nr. 288, S. 1-14
- Luczak, Holger: Arbeitswissenschaft. 2. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer, 1998
- Moeller, Elvira; Oliveira, Maria-Lucia: Laboratorien und Laborleiter. In: Moeller Elvira (Hrsg.): Praxislösungen Laborleiter, Band 1. Kissing: Weka Media, Kapitel 3.2, 2006, S. 1-4
- Nefiodow, Leo A.: Der sechste Kondratieff: Wege zur Produktivität und Vollbeschäftigung im Zeitalter der Information. Die langen Wellen der Konjunktur und ihre Basisinnovation. Sankt Augustin: Rhein Sieg, 2007
- Neis-Beeckmann, Petra: Molekularbiologie für Dummies. Weinheim: Wiley, 2015
- Norm DIN EN 14056:2003-07. Laboreinrichtungen – Empfehlungen für Anordnung und Montage; Deutsche Fassung EN 14056:2003
- Norm DIN EN 13150:2001-12. Arbeitstische für Laboratorien – Maße, Sicherheitsanforderungen und Prüfverfahren; Deutsche Fassung EN 13150:2001
- Norm DIN EN 12128:1998-05. Biotechnik – Laboratorien für Forschung, Entwicklung und Analyse – Sicherheitsstufen mikrobiologischer Laboratorien, Gefahrenbereich, Räumlichkeiten und technische Sicherheitsanforderungen; Deutsche Fassung EN 12128:1998

Norm DIN EN 14175-1:2003-08. Abzüge – Teil 1: Begriffe; Deutsche Fassung EN 14175-1:2003

Ochs, Jelena; Jung, Sven; Piotrowski, Tobias; Niessing, Bastian; König, Niels; Schmitt, Robert: Das Stammzelllabor der Zukunft. Forschen in einer automatisierten Testumgebung. In: GIT Labor-Fachzeitschrift 62 (2018), Nr. 2, S. 23

Oeschger, Daniel A.: Gestaltung einer Innovationsprozessorientierten Arbeitsumgebung für die industrielle Forschung. Stuttgart: Fraunhofer Verlag, 2015. Zugl.: Stuttgart, Univ., Diss., 2015

Organisation for Economic Co-operation and Development OECD (Hrsg.): Die OECD in Zahlen und Fakten 2013: Wirtschaft, Umwelt, Gesellschaft. Paris: OECD Publishing, 2013. [Online]. [Zugriff am 24.02.2020]. Verfügbar unter: <http://dx.doi.org/10.1787/9789264090118-de>

Organisation for Economic Co-operation and Development OECD (Hrsg.): Frascati-Handbuch 2015: Leitlinien für die Erhebung und Meldung von Daten über Forschung und experimentelle Entwicklung, Messung von wissenschaftlichen, technologischen und Innovationsstätigkeiten. Paris: OECD Publishing, 2018. [Online]. [Zugriff am 12.01.2020]. Verfügbar unter: https://read.oecd-ilibrary.org/science-and-technology/frascati-handbuch-2015_9789264291638-de#page1

Organisation for Economic Co-operation and Development OECD (Hrsg.): OECD Biotechnology Statistics 2009. Paris: OECD, 2009

Päabo, Svante: Was ist Forschung? In: Braun, Hardo; Grömling, Dieter (Hrsg.): Forschungs- und Technologiebau. Basel, Berlin, Boston: Birkhäuser, 2005, S. 10-11

Porr, Marc; Marquard, Daniel; Stanislawski, Nils; Austerjost, Jonas; Russo, Mario; Bungers, Simon; Klimmt, Christoph; Scheper, Thomas; Beutel, Sascha; Lindner, Patrick: smartLAB – Interaktives Arbeiten in digitalisierter Laborumgebung. In: Chemie Ingenieur Technik 91 (2019), Nr. 3, S. 285-293

REFA Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e. V. (Hrsg.): Ausgewählte Methoden des Arbeitsstudiums. München: Hanser, 1993

Reinard, Thomas: Molekularbiologische Methoden. Stuttgart: Ulmer, 2010

Reinard, Thomas: Molekularbiologische Methoden 2.0. Stuttgart: Ulmer, 2018

Richtlinie 2000/54/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 18. September 2000 über den Schutz der Arbeitnehmer gegen Gefährdung durch biologische Arbeitsmittel bei der Arbeit. [Online]. [Zugriff am 26.01.2020]. Verfügbar unter: <https://www.baua.de/DE/Themen/Arbeitsgestaltung-im-Betrieb/Biostoffe/Rechtliche-Grundlagen.html>

- Rieck, Alexander: Beitrag zur Gestaltung von Arbeitsumgebungen für die Wissensarbeit. Heimsheim: Jost Jetter, 2011. Zugl.: Stuttgart, Univ., Diss., 2011
- Rief, Stefan: Methode zur Analyse des Besprechungsgeschehens und zur Konzeption optimierter, räumlich-technischer Infrastrukturen für Besprechungen. Stuttgart: Fraunhofer Verlag, 2015. Zugl.: Stuttgart, Univ., Diss., 2015
- Riesenhuber, Felix: Großzahlige empirische Forschung. In: Albers, Sönke; Klapper, Daniel (Hrsg.) et al.: Methodik der empirischen Forschung. 3. Auflage. Wiesbaden: Springer Gabler, 2009
- Schäfer, Burkhard: Data Exchange in the Laboratory of the Future. In: Wiley Analytical Science, 2018. [Online]. [Zugriff am 26.03.2020]. Verfügbar unter: <https://analyticalscience.wiley.com/do/10.1002/gitlab.17270/full/>
- Schlick Christopher M.; Bruder, Ralph; Luczak, Holger: Arbeitswissenschaft – 3. vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer, 2010
- Schmauder, Martin; Spanner-Ulmer, Birgit: Ergonomie – Grundlagen zur Interaktion von Mensch, Technik und Organisation. 1. Auflage. München: Hanser, 2014
- Schmidgen, Henning: Labor. In: Europäische Geschichte Online, 2011. [Online]. [Zugriff am 15.01.2019]. Verfügbar unter: <http://ieg-ego.eu/de/threads/crossroads/wissensraeume/henning-schmidgen-labor>
- Schnauber Herbert: Arbeitswissenschaft. Braunschweig, Wiesbaden: Vieweg, 1979
- Schnell, Rainer; Hill, Paul B.; Esser Elke: Methoden der empirischen Sozialforschung, 5. völlig überarbeitete und erweiterte Auflage. München, Wien: Oldenbourg, 1995
- Serrato, Margaret G.: Building based communication research. Georgia Institute of Technology. Ph.D. thesis, 2001
- Sigrist, Stephan; Stricker, Julia et al.: Das Labor der Zukunft. Zürich, 2016. [Online]. [Zugriff am 15.03.2018]. Verfügbar unter: https://www.the.wire.ch/data/files/Laborstudie_D.pdf
- Söhngen, Klaus: Planung und Anforderungen von Laborflächen. In: Kramme, Rüdiger (Hrsg.): Medizintechnik. Berlin, Heidelberg: Springer, 2017, S. 667-677
- Spath, Dieter (Hrsg.): Produktionsarbeit der Zukunft: Industrie 4.0. Stuttgart: Fraunhofer Verlag, 2013
- Spath, Dieter: Grundlagen der Organisationsgestaltung. In: Bullinger, Hans-Jörg; Spath, Dieter; Warnecke, Hans-Jürgen; Westkämper, Engelbert (Hrsg.): Handbuch Unternehmensorganisation – Strategien, Planung, Umsetzung. 3. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer, 2009, S. 3-24

- Spath, Dieter; Castor, Jörg; Juergens, Kai: Unterstützende IT in biologisch-technischen Laboren. In: wt Werkstattstechnik online 97 (2007) Nr. 1, S. 8-11
- Statista (2018): Unternehmen mit den höchsten Ausgaben für Forschung und Entwicklung weltweit. [Online]. [Zugriff am 22.10.2018]. Verfügbar unter: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/245523/umfrage/unternehmen-mit-den-hoechsten-ausgaben-fuer-forschung-und-entwicklung-weltweit/>
- Statista (2019): Umsätze der wichtigsten Industriebranchen in Deutschland in den Jahren von 2016 bis 2018. [Online]. [Zugriff am 06.08.2020]. Verfügbar unter: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/241480/umfrage/umsaetze-der-wichtigsten-industriebranchen-in-deutschland/>
- Statista (2020): Umsatz der Branche Herstellung von pharmazeutischen Erzeugnissen in Deutschland von 2012-2018 und Prognose bis zum Jahr 2024. [Online]. [Zugriff am 13.08.2020]. Verfügbar unter: <https://de.statista.com/prognosen/925119/herstellung-von-pharmazeutischen-erzeugnissen-umsatz-in-deutschland>
- Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft e. V. (Hrsg.): Forschung und Entwicklung in der Wirtschaft 2018. Essen, 2020
- Stirn, Hans: Arbeitswissenschaft. Opladen: Leske, 1980
- Technische Regeln für Arbeitsstätten ASR A1.8. Ausgabe: November 2012, zuletzt geändert GMBI 2018, S. 473. Verkehrswege
- Technische Regeln für Biologische Arbeitsstoffe 100 (TRBA 100). Ausgabe: 17.10.2013, idF vom 02.05.2018. Schutzmaßnahmen für Tätigkeiten mit biologischen Arbeitsstoffen in Laboratorien
- Technische Regeln für Gefahrstoffe 526 (TRGS 526) von 02.2008. Laboratorien
- Thierbach, Cornelia; Petschick, Grit: Beobachtung. In: Baur, Nina; Blasius, Jörg (Hrsg.): Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung. Wiesbaden: Springer, 2014, S. 855-866
- Thompson, Jessica: Interdisciplinary Research Team Dynamics. A Systems Approach to Understanding Communication and Collaboration in Complex Teams. Saarbrücken: Dr. Müller, 2007
- Thurow, Kerstin; Fleischer, Heidi: Future Lab – Das automatisierte Labor der Zukunft. Quo vadis? Wohin entwickelt sich das analytisch-messtechnische Labor? In: GIT Labor-Fachzeitschrift 62 (2018) Nr. 2, S. 16-21

- Verband forschender Arzneimittelhersteller e. V. und Institut der deutschen Wirtschaft Köln e. V. (Hrsg.): Die Pharmazeutische Industrie in Deutschland – Ein Branchenportrait. Berlin, Köln, 2018
- Verband forschender Arzneimittelhersteller e. V. (Hrsg.): Deutschland als Standort für Pharmaforschung und -entwicklung. Berlin, 2020. [Online]. [Zugriff am 27.07.2020]. Verfügbar unter: <https://www.vfa.de/de/arzneimittel-forschung/so-funktioniert-pharmaforschung/amf-standortfaktoren.html>
- Vogl, Susanne: Gruppendiskussion; in: Baur, Nina; Blasius, Jörg (Hrsg.): Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung. Wiesbaden: Springer, 2014, S. 581-586
- Wang, Rong; Liu, Chuanyong; Ma, Tian: Evaluation of a virtual neurophysiology laboratory as a new pedagogical tool for medical undergraduate students in China. In: Advances in Physiology Education 42 (2018), S. 704-710
- Watch, Daniel D.: Building Type Basics for Research Laboratories. 2nd Edition. Hoboken: Wiley, 2008
- Winkelhofer, Georg: Management und Projektmethoden. Ein Leitfaden für IT, Organisation und Unternehmensentwicklung. 3. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer, 2005
- Wissenschaftsstatistik GmbH im Stifterverband für die deutsche Wissenschaft (Hrsg.): FuE-Datenreport 2010 – Analysen und Vergleiche. Essen, 2010
- Wu, Lynn; Waber, Ben; Aral, Sinan; Brynjolfsson; Pentland, Alex: Mining Face-to-Face Interaction Networks Using Sociometric Badges: Predicting Productivity in an IT Configuration Task. In: Proceedings of the International Conference on Information Systems, December 14-17, 2008, Paris, France
- Zupancic, Klemen: Das Labor der Zukunft. Papierlos und vernetzt. In: GIT Labor-Fachzeitschrift 60 (2016) Nr. 10, S. 34-38

10 Anhang

Abschnitt 1.1: Forschungs- und Entwicklungsintensität ausgewählter Branchen (Beschäftigte)

Wirtschaftssektor	Beschäftigte FuE	Gesamtbeschäftigte	Anteil Beschäftigte FuE an Gesamtbeschäftigten
A 01-03	1.579	223.898	0,71%
B 05-09	240	66.285	0,36%
C 10-33	358.207	7.031.103	5,09%
10-12	2.704	712.064	0,38%
13-15	1.120	127.163	0,88%
16-18	1.958	370.081	0,53%
19	429	22.942	1,87%
20	21.409	343.071	6,24%
21	21.176	151.368	13,99%
22	9.212	408.470	2,26%
23	3.024	205.472	1,47%
24	4.466	292.840	1,52%
25	7.866	846.800	0,93%
26	56.423	429.680	13,13%
27	23.849	368.554	6,47%
28	50.202	1.086.334	4,62%
29	131.597	952.391	13,82%
30	14.200	169.303	8,39%
30.3	11.960	96.829	12,35%
31-33	8.572	544.570	1,57%
D,E 35-39	1.005	487.640	0,21%
F 41-43	1.116	1.848.673	0,06%
J 58-63	26.941	1.106.601	2,43%
62.01	19.521	731.081	2,67%
K 64-66	1.243	970.926	0,13%
M 69-75	54.515	2.271.367	2,40%
71	24.508	598.579	4,09%
72	27.373	231.144	11,84%
G-I,L,N-U	3.446	Keine Daten	
	6.212	19.278.426	0,03%
Gesamt	451.057	Gesamt 33.284.919	1,36%

Quellen: Bundesagentur für Arbeit Statistik (Hsg.): Beschäftigte nach Wirtschaftszweigen (WZ 2008) (Quartalszahlen), Stichtag: 31. Dezember 2018. Nürnberg, 10.07.2019
 Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft e.V. (Hsg.): Forschung und Entwicklung in der Wirtschaft 2018. Essen, März 2020, S.5

Abschnitt 1.1: Forschungs- und Entwicklungsintensität ausgewählter Branchen (Umsatz)

Wirtschaftssektor	FuE Aufwendung Gesamt in Euro	Gesamtumsatz in Euro	Anteil FuE Aufwendung an Gesamtumsatz
A 01-03	273.000.000 €	38.038.160.000 €	0,72%
B 05-09	30.000.000 €	12.837.770.000 €	0,23%
C 10-33	80.899.000.000 €	2.233.099.232.000 €	3,62%
10-12	339.000.000 €	157.350.000.000 €	0,22%
13-15	H.v. Nahrungs- u. Futtermitteln, Getränken u. Tabakerzeugn. H.v. Textilien, Bekleidung, Leder, Lederwaren und Schuhen	23.050.000.000 €	0,42%
16-18	H.v. Holzwaren, Papier, Pappe und Druckerzeugnissen Kokerei und Mineralölverarbeitung	150.000.000 €	0,12%
19	H.v. chemischen Erzeugnissen	4.775.000.000 €	2,46%
20	H.v. pharmazeutischen Erzeugnissen	7.815.000.000 €	7,70%
21	H.v. Gummi- und Kunststoffwaren	1.253.000.000 €	1,51%
22	H.v. Glas u. Glaswaren, Keramik, Verarb. v. Steinen u. Erden	364.000.000 €	1,16%
23	Metallerzeugung und -bearbeitung	680.000.000 €	0,49%
24	H.v. Metallerzeugnissen	1.030.000.000 €	0,61%
25	H.v. DV-Geräten, elektronischen u. opt. Erzeugnissen	9.184.000.000 €	5,74%
26	H.v. elektrischen Ausrüstungen	3.128.000.000 €	3,14%
27	Maschinenbau	7.789.000.000 €	2,89%
28	H.v. Kraftwagen und Kraftwagenteilen	39.714.000.000 €	7,02%
29	Sonstiger Fahrzeugbau	3.025.000.000 €	3,62%
30	Luft- und Raumfahrzeugbau	2.667.000.000 €	4,13%
31-33	1.262.000.000 € Sonst. H. v. Waren, Rep.u.Inst.von Maschinen u. Ausrüstungen Energie- und Wasserwerks-, Abwasser- und Abfallentsorgung	584.823.106.000 € 303.765.097.000 € 260.501.145.000 €	0,03% 0,03% 1,51%
D,E 35-39	189.000.000 €	keine Daten	
F 41-43	90.000.000 €	303.765.097.000 €	0,03%
J 58-63	3.098.000.000 €	260.501.145.000 €	1,51%
K 64-66	Programmierleistungen	keine Daten	
M 69-75	Finanz- und Versicherungsdienstleistungen Freiberufliche, wissenschaftl. u. techn. Dienstleistungen Architektur- Ing.büros; techn., phys.,chem. Untersuchung Wissenschaftliche Forschung und Entwicklung Institutionen für Gemeinschaftsforschung	154.371.974.000 € 354.514.206.000 € 73.520.000.000 € 9.750.000.000 €	0,17% 1,78% 3,26% 36,70%
G-I,L,N-U	Restliche Abschnitte	491.000.000 € 820.000.000 €	0,03%
Gesamt	92.795.000.000 €	7.006.316.712.000 €	1,32%

Quellen:
 Quelle Oberkategorien B - U <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Unternehmen/Tabellen/unternehmen-beschaeftigte-umsatz-wz08.html>
 Quelle Landwirtschaft Kategorie A <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/223340/umfrage/umsatz-der-landwirtschaft-in-deutschland/>
 Quelle Luft und Raumfahrzeugbau (Prognose): Kategorie C 30 <https://de.statista.com/prognose/313860/luft-und-raumfahrzeugbau-umsatz-in-deutschland>
 Quelle Kategorie M 71-72 (Prognose) <https://de.statista.com/prognose/924883/freiberufliche-wissenschaftliche-technische-dienstleistungen-umsatz-in-deutschland>
 Quelle C 10-12 <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/164959/umfrage/umsatz-der-nahrungsmittelindustrie-in-deutschland-seit-2005/>
 Quelle C 13 - 15 <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/184251/umfrage/umsatz-in-der-textil-und-bekleidungsindustrie-seit-2008/>
 Quelle C 16 <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/270316/umfrage/umsatz-der-holzverarbeitenden-industrie-ohne-moebel-in-deutschland-nach-subbranchen/>
 Quelle C 17 <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/164736/umfrage/umsatz-der-papierindustrie-in-deutschland/>
 Quelle C 18 (Prognose) <https://de.statista.com/prognose/924885/herstellung-von-druckerzeugnissen-umsatz-in-deutschland>
 Quelle C 19 (Prognose) <https://de.statista.com/prognose/925107/kokerei-und-mineraloelverarbeitung-umsatz-in-deutschland>
 Quelle C 20 (Prognose) <https://de.statista.com/prognose/925121/herstellung-von-chemischen-erzeugnissen-umsatz-in-deutschland>
 Quelle C 21 (Prognose) <https://de.statista.com/prognose/925119/herstellung-von-pharmazeutischen-erzeugnissen-umsatz-in-deutschland>
 Quelle C 22 (Prognose) <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/164996/umfrage/umsatz-der-herstellung-von-gummi-und-kunststoffwaren-in-deutschland/>
 Quelle C 23 <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/165014/umfrage/umsatz-der-glasindustrie-in-deutschland-seit-2005/>
 Quelle C 24 (Prognose) <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/248214/umfrage/prognose-zum-umsatz-in-der-metallerzeugung-und-bearbeitung-in-deutschland/>
 Quelle C 25 (Prognose) <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/248373/umfrage/prognose-zum-umsatz-in-der-herstellung-von-metallerzeugnissen-in-deutschland/>
 Quelle C 26 (Prognose) <https://de.statista.com/prognose/925115/herstellung-von-dv-geraeten-elektron-und-opt-erzeugnissen-umsatz-in-deutschland/>
 Quelle C 27 <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/915270/umfrage/umsatz-von-elektrischen-ausrustungen-in-deutschland/>
 Quelle C 28 (Prognose) <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/248366/umfrage/prognose-zum-umsatz-in-maschinenbau-in-deutschland/>
 Quelle C 29 (Prognose) <https://de.statista.com/prognose/925178/herstellung-von-kraftwagen-und-kraftwagenteilen-umsatz-in-deutschland>
 Quelle C 30 (Prognose) <https://de.statista.com/prognose/925073/sonstiger-fahrzeugbau-umsatz-in-deutschland>
 Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft e. V. (Hrsg.): Forschung und Entwicklung in der Wirtschaft 2018. Essen, März 2020, S.5

Abschnitte 2.6 / 2.7: Tätigkeitsverteilung und -entwicklung in der Laborumgebung / Verbesserungspotenziale der Laborausstattung

Studien 2007 / 2020 – Fragebogen

Mit der vorliegenden Studie wenden wir uns an Gruppenleiter*innen, Forscher*innen und technische Laborassistent*innen in lebenswissenschaftlichen Laboren. Die Inhalte der vorliegenden Studie befassen sich mit folgenden Fragen: Wie ist ihre Zeitverteilung im Labor? An welchen Arbeitsorten arbeiten Sie in welchem Umfang?

Zusätzlich möchten wir gerne von Ihnen wissen in welcher Art und Weise sich Teamarbeit bei Ihnen am Institut oder im Unternehmen entwickelt und welche Verbesserungspotenziale Sie hinsichtlich der Laborausstattung sehen.

Instituts-/Unternehmensumfeld

Frage 1) Wie groß ist ihr Unternehmen / Institut (Anzahl der Arbeitnehmer*innen)?

- 1-9
- 10-149
- 50-199
- 200-499
- 500-999
- 1000 +

Frage 2) Bitte beschreiben Sie die Branche in der Sie tätig sind.

Bitte wählen Sie eine der folgenden Antworten aus:

- Biotechnologie / Biologie
- Chemie
- Lebensmittel / Getränke
- Medizin
- Pharma
- Sonstiges (freie Antworteingabe)

Frage 3) Wie alt ist das Forschungsgebäude, in dem Sie den größten Teil ihrer Forschung betreiben?

- bis 1 Jahr
- 1 bis 5 Jahre
- 6 bis 10 Jahre
- 11 bis 15 Jahre
- 16 bis 20 Jahre
- Mehr als 20 Jahre

Frage 4) Wie alt ist Ihre Laborausstattung? (Labormöbel, Medienversorgung)

- bis 1 Jahr
- 1 bis 5 Jahre
- 6 bis 10 Jahre
- 11 bis 15 Jahre
- 16 bis 20 Jahre
- Mehr als 20 Jahre

Arbeitsumfeld

Frage 5) Wie viel Zeit verbringen Sie prozentual bei ...? (in %)

Die Summe muss gleich 100 sein. Bitte füllen Sie mindestens eine Antwort aus. Nur ganzzahlige Werte können in diese Felder eingegeben werden.

	Angabe in %
Nass-präparative Tätigkeiten (Präparation, Durchführung Experiment)	
Computergestützte wissenschaftliche Tätigkeiten (Auswertungen, Simulationen etc.)	
E-Mail / Internettätigkeiten	
Besprechungstätigkeiten im eigenen Gebäude (mit Externen)	
Besprechungstätigkeiten im eigenen Gebäude (mit Kollegen)	
Geschäftsreisen / Konferenzreisen	
Administrative Tätigkeiten (Erstellen von Forschungsberichten, Führen des Laborbuches)	
Andere Tätigkeiten	

Arbeitsorte

Wo führen Sie Ihre Tätigkeiten aus? (in %)

Frage 6 a) Computerbezogene wissenschaftliche Tätigkeiten (Auswertungen etc.)

Die Summe muss gleich 100 sein. Bitte füllen Sie mindestens eine Antwort aus.
Nur ganzzahlige Werte können in diese Felder eingegeben werden.

	Angabe in %
Im Labor	
Am Schreib-/Auswertepplatz im oder am Labor	
Im Büro	
Im Besprechungsraum	
In einer informellen Kommunikationszone	
Andere	

Wo führen Sie Ihre Tätigkeiten aus? (in %)

Frage 6 b) E-Mail / Internettätigkeiten

Die Summe muss gleich 100 sein. Bitte füllen Sie mindestens eine Antwort aus.
Nur ganzzahlige Werte können in diese Felder eingegeben werden.

	Angabe in %
Im Labor	
Am Schreib-/Auswertepplatz im oder am Labor	
Im Büro	
Im Besprechungsraum	
In einer informellen Kommunikationszone	
Andere	

Wo führen Sie Ihre Tätigkeiten aus? (in %)

Frage 6 c) Besprechungstätigkeiten (mit Externen) im eigenen Gebäude

Die Summe muss gleich 100 sein. Bitte füllen Sie mindestens eine Antwort aus. Nur ganzzahlige Werte können in diese Felder eingegeben werden.

	Angabe in %
Im Labor	
Am Schreib-/Auswertepplatz im oder am Labor	
Im Büro	
Im Besprechungsraum	
In einer informellen Kommunikationszone	
Andere	

Wo führen Sie Ihre Tätigkeiten aus? (in %)

Frage 6 d) Besprechungstätigkeiten im eigenen Gebäude (mit Kolleg*innen)

Die Summe muss gleich 100 sein. Bitte füllen Sie mindestens eine Antwort aus. Nur ganzzahlige Werte können in diese Felder eingegeben werden.

	Angabe in %
Im Labor	
Am Schreib-/Auswertepplatz im oder am Labor	
Im Büro	
Im Besprechungsraum	
In einer informellen Kommunikationszone	
Andere	

Wo führen Sie Ihre Tätigkeiten aus? (in %)

**Frage 6 e) Administrative Tätigkeiten
(Erstellen von Forschungsberichten / Reports / Forschungsnotizen)**

Die Summe muss gleich 100 sein. Bitte füllen Sie mindestens eine Antwort aus.
Nur ganzzahlige Werte können in diese Felder eingegeben werden.

	Angabe in %
Im Labor	
Am Schreib-/Auswertepplatz im oder am Labor	
Im Büro	
Im Besprechungsraum	
In einer informellen Kommunikationszone	
Andere	

Ausblick

**Frage 7) Wie schätzen Sie die Veränderung der Anteile an Teamarbeit in
den nächsten fünf Jahren ein?**

	Zunahme	Abnahme	Keine Veränderung
Kollaborative Arbeit insgesamt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Teamarbeit innerhalb der eigenen Arbeitsgruppe / Abteilung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Teamarbeit mit verschiedenen Arbeitsgruppen / Abteilungen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Teamarbeit mit verschiedenen wissenschaftlichen Disziplinen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Frage 8) In welchen Bereichen sehen Sie Verbesserungspotenzial in der Laborumgebung?

Bitte wählen Sie alle zutreffenden Antworten aus:

- Anpassungsfähigkeit (Räumlich, Technisch)
- Biologische Sicherheit
- IT-Vernetzung
- Technische Gebäudeausstattung
- Unterschiedliche Forschungstätigkeit mit geringer Rüstzeit möglich
- Materialfluss
- Qualität Laborabzüge
- Informelle Kommunikationszone (Verfügbarkeit)
- Beleuchtung
- Besprechungsräume (Verfügbarkeit)
- Allgemeine Arbeitssicherheit
- Zugangssicherheit
- Ablagefläche im Labor
- Medienversorgung
- Arbeitsbedingungen (Geräuschpegel, Raumklima, Luftqualität)
- Schreib-/Auswertepplätze (Verfügbarkeit)
- Sonstiges (freie Antworteingabe)

Abschnitte 2.6 / 2.7: Tätigkeitsverteilung und -entwicklung in der Laborumgebung / Verbesserungspotenziale der Laborausstattung

Studien 2007 / 2020 – Informationen zu den Stichproben

Methodik: schriftliche Online-Befragung

Zugang zu den Stichproben: Der Zugang zu den Teilnehmenden fand über die zentrale Verwaltung der Max-Planck-Gesellschaft, Institutsverwaltungen der Helmholtz-Gemeinschaft, den Verbund Life Sciences der Fraunhofer-Gesellschaft, der Verwaltung sowie Forschungsgruppen von drei Pharmaunternehmen, den Fachbereich Technische Biologie der Universität Stuttgart und ihren jeweiligen Netzwerken statt. Zudem wurde die Information zu den Befragungen über die Netzwerke von mehreren Laborausstattern und Fachplanern verbreitet.

Größe der Stichproben:

n = 63 (2007)

n = 74 (2020)

Frage 1) Wie groß ist ihr Unternehmen / Institut (Anzahl der Arbeitnehmer*innen)?

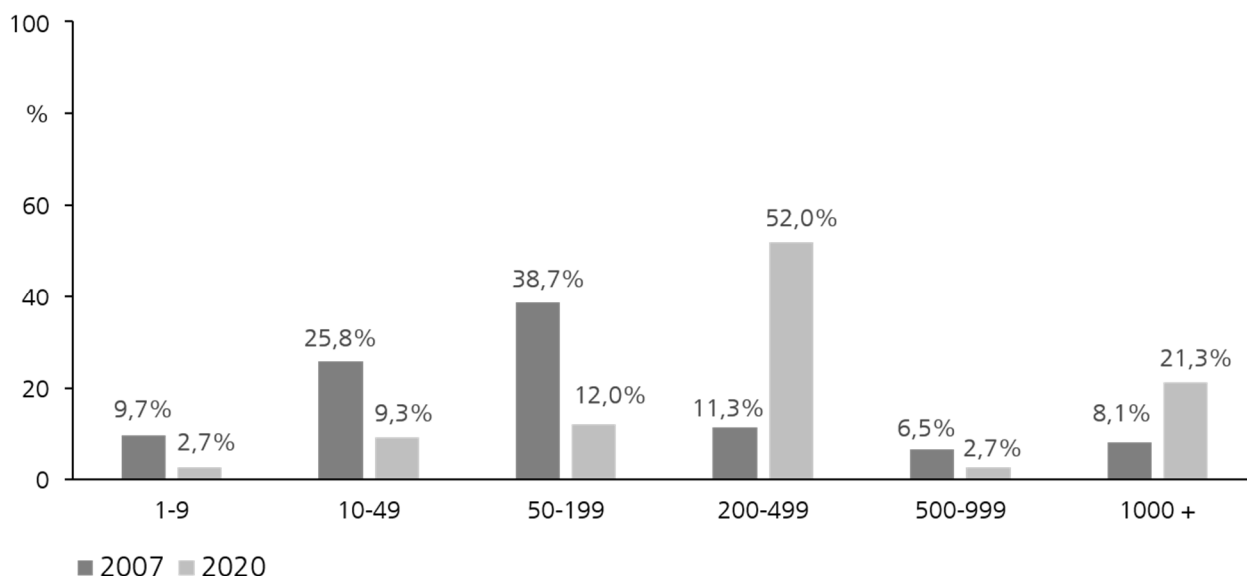


Abbildung: Unternehmens-/Institutsgröße der Teilnehmenden – Studie 2007 und 2020

Frage 2) Bitte beschreiben Sie die Branche in der Sie tätig sind.

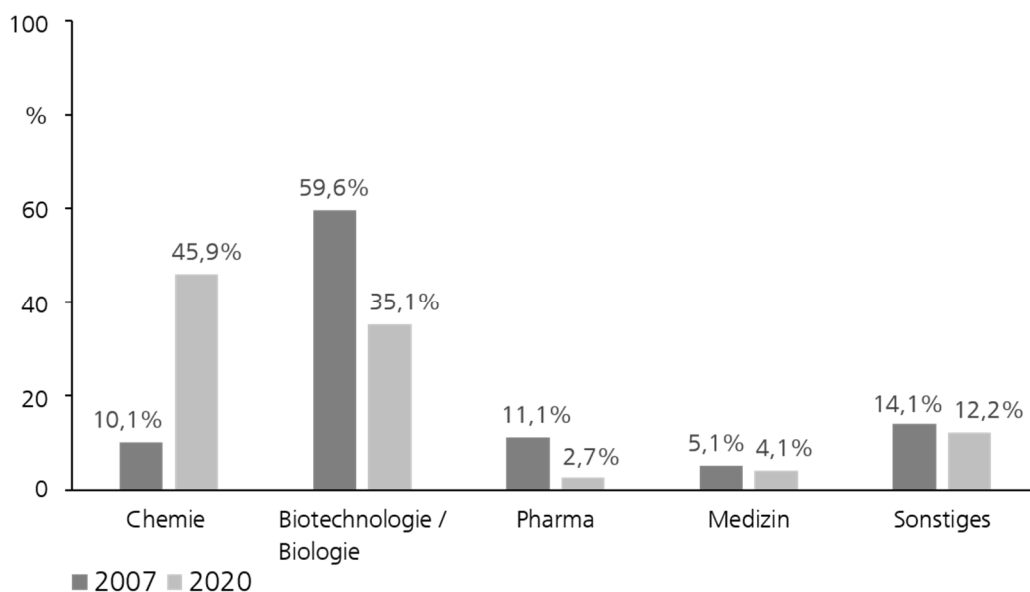


Abbildung: Branchenzugehörigkeit der Teilnehmenden – Studie 2007 und 2020

Frage 3) Wie alt ist das Forschungsgebäude, in dem Sie den größten Teil ihrer Forschung betreiben?

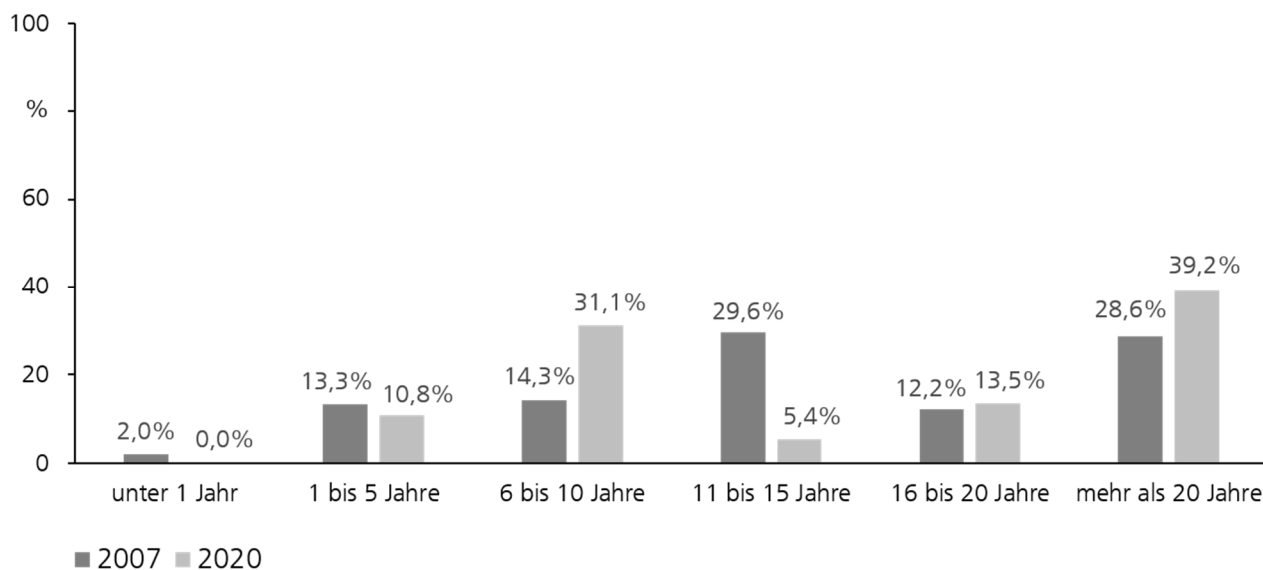


Abbildung: Gebäudealter »Forschung« der Teilnehmenden – Studie 2007 und 2020

Abschnitt 3.3: Einteilungskriterien der arbeitswissenschaftlichen Untersuchungsmethoden²⁰³

		Befragung	
	Einteilungs- kriterien	mündlich	schriftlich
Befragungssituation	persönlich (FtF)	•	(teilnehmend)
	telefonisch	•	
	postalisch		•
	elektronisch	•	•
Standardisierungsgrad	strukturiert	•	•
	halb-strukturiert	•	•
	unstrukturiert	•	•
Fragestellung	offen	•	•
	geschlossen	•	•
	direkt	•	•
	indirekt	•	•
Größe der Stichprobe	Einzelbefragung	•	•
	Gruppenbefragung	•	•
	Survey	•	•
Anzahl Interviewer	ein Interviewer	•	
	Tandem	•	
	Hearing	•	
Informationsfluss	ermittelnd	•	•
	vermittelnd	•	
Autoritätsanspruch	weich	•	
	neutral	•	

²⁰³ Eigene Einteilung und Darstellung; vgl. Döring/Bortz (2016), S. 323-425, S. 533-560; Schmauder/Spanner-Ulmer (2014), S. 179 ff., S. 269-275; Atteslander (2010), S. 109-111; Bortz/Döring (2006), S. 54 f., S. 236-239, S. 296-300, S. 324-325 ; Luczak (1998), S. 40-45, S. 650-674; Bullinger (1995), S. 195 f., S. 212-214; Schnell et al. (1995), S. 354-358; Bokranz/Landau (1991), S. 23-25, S. 177-178, S.232 f.; Huber (1987), S.124-143; Atteslander/Kopp (1987), S. 144-147; Gachowetz (1987), S. 255-265

	hart	•	
Erfassungsmöglichkeiten	Verhaltensweisen	•	•
	Tätigkeiten	•	•
	Zustände	•	•
	Sachverhalte	•	•

Tabelle: Einteilungskriterien Befragung

Selbstaufschrieb			
	Einteilungs- kriterien	standardisiertes Protokoll	nicht-standardisiertes Protokoll
Fragestellung	offen	•	•
	geschlossen	•	•
	direkt	•	•
	indirekt	•	•
Erfassungsmöglichkeiten	Verhaltensweisen	•	•
	Tätigkeiten	•	•
	Zustände	•	•
	Sachverhalte	•	•

Tabelle: Einteilungskriterien Selbstaufschrieb

Multimoment-Methode (MM)			
	Einteilungs- kriterien	Multimoment- häufigkeitszähl- methode (MMH)	Multimoment- zeitmess- methode (MMZ)
Datenerhebung	zählen	•	
	messen		•
Ergebnisse	absolute Häufigkeiten	•	
	Prozentsätze	•	
	Minutenwerte		•
	Stundenwerte		•

Tabelle: Einteilungskriterien Multimoment-Methode

Beobachtung			
	Einteilungs- kriterien	Fremdbeobachtung	Selbstbeobachtung
Rolle des Beobachters	teilnehmend	•	•
	nicht-teilnehmend	•	
Dokumentationsart	vermittelte	•	•
	unvermittelte	•	•
Zugang	direkt	•	•
	indirekt	•	•
Größe der Stichprobe	Einzelbeobachtung	•	•
	Gruppenbeobach- tung	•	
Situatives Bewusstsein	offen	•	•
	verdeckt	•	
Einflussnahme	Verhalten instruiert	•	•
	Verhalten nicht in- struiert	•	•
	Notwendigkeit der Manipulation	•	•
Erfassungsmöglichkeiten	Verhaltensweisen	•	•
	Tätigkeiten	•	•
	Zustände	•	•
	Zeitverläufe	•	•
	Sachverhalte	•	•

Tabelle: Einteilungskriterien Beobachtung

Abschnitt 3.5: Vor- und Nachteile der arbeitswissenschaftlichen Untersuchungsmethoden

Befragung

Befragung		Vorteile	Nachteile
	Allgemein	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Erfassung qualitativer Informationen, die nur eingeschränkt quantitativ erfasst werden können ▪ Grundlegende Basis für weitere Analysen ▪ Direkte Einbeziehung der Betroffenen (bspw. Mitarbeitende) ▪ Kosten sind i.d.R. kalkulierbar 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Risiko von voreiligen Schlussfolgerungen ohne fundierte, statistische Gültigkeit ▪ Hoher Zeit- und Arbeitsaufwand ▪ Einbeziehung der Betroffenen kann »falsche Hoffnungen« wecken
Fragestellung	Offen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Der Befragte kann frei und in seinen eigenen Worten antworten ▪ Aspekte, die vom Untersuchenden zunächst nicht beachtet wurden, können zusätzlich erfasst werden 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aufzeichnung ist aufwendig / nicht immer vollständig möglich ▪ Es können hohe Interpretationsspielräume entstehen ▪ Risiko, dass nicht die gewünschten Daten erhoben werden (»Abschweifen«)
	Geschlossen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Zeitersparnis gegenüber der offenen Befragung ▪ Der Befragte muss Antworten nur wiedererkennen, nicht selbst formulieren 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ungenaue / undifferenzierte Formulierung erschwert die Datenerhebung ▪ Der Befragte macht sich selbst nur wenige eigene Gedanken ▪ Gefahr, dass Aspekte vergessen werden
	Hoher Standardisierungsgrad	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bei mehreren Befragungen wird sichergestellt, dass die Daten miteinander vergleichbar sind ▪ Geringerer Aufwand bei der Vor- und Nachbereitung 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Flexibilität geht verloren ▪ Standardisierung erfüllt nicht die Anforderungen an verschiedene Probanden

	Niedriger Standardisierungsgrad	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Auf verschiedene Probanden kann flexibel eingegangen werden 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Höherer Aufwand bei der Vor- und Nachbereitung
Anzahl an Probanden	Einzelbefragung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Hohe Fokussierung auf die Belange einzelner Personen (Erfassung individueller Sichtweisen) ▪ Hohe Einflussnahme durch den Interviewer möglich ▪ Hohe Flexibilität 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aussagen einzelner Personen entsprechen ggf. nur eingeschränkt der Realität (stark subjektiv – kann auch gewollt sein) ▪ Hoher Aufwand, wenn viele Einzelpersonen befragt werden sollen
	Gruppenbefragung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Erfassung von kollektiven Orientierungen und Differenzen (im Entstehungsprozess) ▪ Meinungen sind in der Gruppe besser durchdacht (da sie vor anderen verteidigt werden müssen) ▪ Zusätzliche Erfassung der Gruppendynamik ▪ Zeitersparnis, wenn viele Personen befragt werden sollen 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Risiko der falschen Zusammensetzung einer Gruppe ▪ Dokumentation gestaltet sich schwieriger als bei der Einzelbefragung ▪ Meinungsäußerungen können in der Gruppe verhindert werden
Mündliche Befragung			
	Allgemein	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Persönlicher Kontakt kann die Qualität der Daten erhöhen ▪ Hohe Kontrolle / hohe Einflussnahme durch den Interviewer möglich ▪ Abbruchwahrscheinlichkeit wird vermindert ▪ Höhere Akzeptanz der Befragung ▪ Alle Formen von Stichproben sind möglich 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Stark ausgeprägte kommunikative und soziale Kompetenzen des Interviewers nötig ▪ Rekrutierung von geeigneten Probanden gestaltet sich oft schwierig ▪ Auf rein sprachlicher Ebene nicht reproduzierbar ▪ Wissenschaftliche Distanz kann verloren gehen

Formen der Befragung	Persönlich (FtF)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Zusätzlich zum Inhaltlichen können die Umgebung und Reaktionen erfasst werden (Interpretationsspielraum) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Hoher zeitlicher und finanzieller Aufwand ▪ Hohe Beobachtungsgabe nötig
	Telefonisch	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Datenerhebungsphase ist geringer als bei anderen Methoden 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Erreichbarkeit / technologische Probleme können die Datenerhebung erschweren
	Computer-gestützt	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Verkürzte Feldphase ▪ Entlastung des Interviewers ▪ Zusätzliche Erfassung von Randdaten möglich (bspw. Dauer der Befragung) ▪ Nutzung zusätzlicher visueller Elemente 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Geringere Einflussnahme durch den Interviewer (kann auch ein Vorteil sein) ▪ Interviewer fokussiert sich zu stark auf den Computer und verliert den Bezug zum Befragten ▪ Korrekturen / Anmerkungen i.d.R. schneller auf Papier durchführbar ▪ Technische Probleme wie Absturzgefahr des Rechners
Schriftliche Befragung			
	Allgemein	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Proband hat Zeit, um sich über die Antworten Gedanken zu machen ▪ Kein Interviewer notwendig ▪ Beeinflussung durch das Auftreten des Interviewers werden vermieden ▪ Anonymität ist gewährleistet 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bei undeutlichen Formulierungen kann der Interviewer keine Unterstützung leisten (Gefahr von ungenauen Angaben) ▪ Grundgesamtheit muss bekannt und erreichbar sein ▪ Geringe Rücklaufquote aufgrund der Selbstselektion ▪ Befragter kann Qualität der Antworten nicht überprüfen ▪ Befragungssituation ist nicht kontrollierbar

Tabelle: Vor- und Nachteile der Befragung²⁰⁴

²⁰⁴ Vgl. Atteslander (2010), S. 110 f.; Diekmann (2007), S. 434 ff.; Winkelhofer (2005), S. 287; Vogl (2014), S. 582; Luczak (1998), S. 41-42; Atteslander/Kopp (1987), S. 144 f.; eigene Ergänzungen

Selbstaufschrieb

Selbstaufschrieb		Vorteile	Nachteile
	Allgemein	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Zielgerichtete Erhebung ▪ Konzentration auf die wesentlichen Faktoren ▪ Proband hat Zeit, sich über die Antworten Gedanken zu machen (weniger impulsiv) ▪ Hoher individueller Personenbezug ▪ Einfluss auf die Befragungssituation durch den Forscher wird minimiert ▪ Zeitersparnis für den Untersuchenden ▪ Hohe Anonymität der Probanden möglich 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Stark subjektive Wahrnehmung ▪ Keine Erhebung zusätzlicher, für die eigene Wahrnehmung unsichtbarer Daten durch Dritte möglich ▪ Handeln, Beobachten und Protokollieren sind nicht zeitgleich möglich (dadurch ggf. lückenhaft) ▪ Beinahe keinen Einfluss durch den Untersuchenden auf die Rücklaufquote ▪ Der Untersuchende kann die Qualität der Antworten nicht überprüfen ▪ Befragungssituation kann nicht kontrolliert werden ▪ Probanden können sich unter Druck gesetzt fühlen und bewusst falsche Angaben machen

Tabelle: Vor- und Nachteile des Selbstaufschrieb²⁰⁵

²⁰⁵ Vgl. Bortz/Döring (2006), S. 324 f.; Winkelhofer (2005), S. 291 f.; Luczak (1998), S. 42; eigene Ergänzungen

Multimoment-Methode

Multimoment-Methode (MM)		Vorteile	Nachteile
	Allgemein	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Geringer zeitlicher und organisatorischer Aufwand ▪ Simultane Beobachtung von zahlreichen Systemen ▪ Relativ genaue, quantifizierbare Ergebnisse ▪ Bei einer diskreten Beobachtung wird das zu beobachtende System nur minimal gestört (hohe Übereinstimmung mit der Realität) ▪ Datenerhebung wird oft kaum wahrgenommen ▪ Schnelle Auswertung der Ergebnisse möglich (bei computergestützter Erfassung) ▪ Im Vorhinein nicht berücksichtigte Tätigkeiten können zusätzlich erfasst werden ▪ Erhebung kann unterbrochen und zu einem späteren Zeitpunkt fortgesetzt werden ▪ Rundgänge können von jedem durchgeführt werden – nicht nur vom Untersuchenden selbst ▪ Statistische Sicherheit von 95 Prozent kann (wenn gewünscht) erreicht werden 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Vorbereitung nur durch Fachpersonal ▪ Nicht jede gewünschte Situation kann aufgenommen werden (nur die bestehenden Verhältnisse) ▪ Es können nur sichtbare Tätigkeiten / Zustände erfasst werden (außergewöhnliche Ereignisse, die sich signifikant auswirken, können nicht erfasst werden) ▪ Probanden können aufgrund der Regelmäßigkeit eine Abwehrhaltung einnehmen ▪ Hohe Gefahr, dass der Proband das Ergebnis bewusst verfälscht ▪ Protokoll lässt sich nur schwer unmittelbar überprüfen
	MMH Häufigkeitszählmethode	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ergebnisse in Prozent ermöglichen einen direkten Vergleich 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Die Tätigkeiten müssen für die Personen, die sie erfassen, schnell und einfach erkennbar sein

	MMZ Zeitmess- methode	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Es werden keine Zeitmessgeräte benötigt 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Kann als mögliche Störgröße im Arbeitsumfeld auf Grund einer längeren Beobachtung und Messung von Tätigkeiten am Arbeitsplatz empfunden werden ▪ Die Methode eignet sich insbesondere bei vergleichbaren Tätigkeiten, bei den die Ausführungsdauer vom Ausführenden prinzipiell steuerbar ist
--	--------------------------------------	---	--

Tabelle: Vor- und Nachteile der Multimoment-Methode²⁰⁶

²⁰⁶ Vgl. Winkelhofer (2005), S. 293 f.; Luczak (1998), S. 670-675; Schlick et al. (2010), S. 688 f.; eigene Ergänzungen

Beobachtung

Beobachtung		Vorteile	Nachteile
	Allgemein	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Erfassung des tatsächlichen Verhaltens, nicht nur der Beschreibung ▪ Zusätzliche Erfassung von unbewusstem Verhalten (Gestik, Mimik, soziale Prozesse etc.) ▪ Liefert Informationen, selbst wenn die Probanden eingeschränkt verbalisierungsfähig sind 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Erfassung von latenten Eigenschaften ist nur stark eingeschränkt möglich (Werte, Normen etc.) ▪ Keine Erfassung von Vergangenheitswerten oder sich wiederholender Ereignisse ▪ Äußerst zeitaufwendig in der Anwendung
Form der Beobachtung	Fremd-Beobachtung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Hohe qualitative und quantitative Neutralität der Daten (bei systematischer Gestaltung) ▪ Daten sind geringer subjektiv beeinflusst als bei der Selbstbeobachtung 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Der Untersuchende kann Probanden beeinflussen ▪ Versteckte / heimliche Beobachtung sind gegen die Grundrechte und dürfen daher nicht durchgeführt werden
	Selbst-Beobachtung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Zielgerichtete Beobachtung ▪ Konzentration auf die wesentlichen Faktoren ▪ Gewinnung eines erweiterten Verständnisses über das eigene Verhalten ▪ Zeitersparnis für den Untersuchenden 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Daten sind stark subjektiv beeinflusst (Neutralität und Qualität ist situationsabhängig fraglich) ▪ Zeitintensiv für den Probanden ▪ Handeln und Beobachten finden zeitversetzt statt / sind nicht gleichzeitig möglich ▪ Unbewusstes Verhalten kann nicht selbst erfasst werden
Bewusstsein	Offen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Informationsfluss wird durch den Aufbau eines Vertrauensverhältnisses erleichtert ▪ Klare Kommunikation der Zielsetzung möglich 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Verhalten der Probanden kann sich durch das Wissen über die Beobachtung verändern (lässt aber i.d.R. im Zeitverlauf nach)

	Verdeckt	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Beobachtung einer unbeeinflussten / natürlichen Situation möglich 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Verletzung der Privatsphäre (Grundrechtsverletzung) ▪ Es kann nicht vollständig davon ausgegangen werden, dass die Beobachtung nicht bemerkt wurde
Einflussnahme durch den Beobachter	Verhalten instruiert	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Gezielte Beeinflussung möglich (Zielführung) ▪ Gewährleistung, dass durchgängig das beobachtet wird, was beobachtet werden soll 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Beeinflussung verfälscht das Verhalten in zu starkem Maß ▪ Qualität der Daten sinkt erheblich
	Verhalten nicht instruiert	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Beobachtung einer unbeeinflussten / natürlichen Situation ▪ Höhere Chance auf Abbildung der Wirklichkeit 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Gewünschtes Verhalten tritt nicht bzw. erst spät auf
	Mit Manipulation	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Messung kann dadurch erst ermöglicht werden 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Verhalten wird bewusst verändert und ist somit nicht realitätsnah
	Ohne Manipulation	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Geringer Einfluss auf die Probanden ▪ Höhere Übereinstimmung mit der Wirklichkeit 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Gewünschtes Verhalten zur Messung tritt gegebenenfalls nicht auf
Beobachter-Rolle	Teilnehmend (aktive Teilnahme)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Einblicke, die als Außenstehender nicht gewonnen werden können ▪ Zugang zum Beobachtungswert oft nur durch eine Teilnahme möglich 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Eigene Anwesenheit verändert die zu beobachtende Situation ▪ Umfassendes Protokoll kann erst nach der Teilnahme erstellt werden (Möglichkeit der Unvollständigkeit) ▪ Starke subjektive Beeinflussung der Beobachtung ▪ Mit der Zeit nimmt die Neutralität des Untersuchenden ab, da er Teil des beobachtenden Systems wird (Verlust der wissenschaftlichen Distanz)

	<p>Nicht teilnehmend (passive Teilnahme)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Der Untersuchende kann sich vollständig auf die Beobachtung und das Protokollieren fokussieren ▪ Geringere Beeinflussung der Situation als bei der Teilnahme am Geschehen 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Manche Zusammenhänge sind von außen nicht wahrnehmbar
--	---	--	---

Tabelle: Vor- und Nachteile der Beobachtung²⁰⁷

²⁰⁷ Vgl. Huber (1987), S. 124 ff.; Winkelhofer (2005), S. 288 ff.; Thierbach/Petschick (2014), S. 856; Luczak (1998), S. 40-41; eigene Ergänzungen

In dieser »Schriftenreihe zu Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement« werden die Dissertationen, die im Rahmen von Forschungs- und Entwicklungsarbeiten am Institut für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement IAT der Universität Stuttgart und am Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO entstanden sind, veröffentlicht.

Die beiden Institute verknüpfen universitäre Grundlagenforschung mit angewandter Auftragsforschung und setzen diese erfolgreich in zahlreichen Projekten praxisgerecht um.

Technologiemanagement umfasst dabei die integrierte Planung, Gestaltung, Optimierung, Bewertung und den Einsatz von technischen Produkten und Prozessen aus der Perspektive von Mensch, Organisation, Technik und Umwelt. Dabei werden neue anthropozentrische Konzepte für die Arbeitsorganisation und -gestaltung erforscht und erprobt. Die Arbeitswissenschaft mit ihrer Systematik der Analyse, Ordnung und Gestaltung der technischen, organisatorischen und sozialen Bedingungen von Arbeitsprozessen sowie ihren humanen und wirtschaftlichen Zielen ist dabei zentral in die Aufgabe des Technologiemanagements eingebunden.

ISBN 978-3-8396-1790-8



ISSN 2195-3414

Fraunhofer Verlag