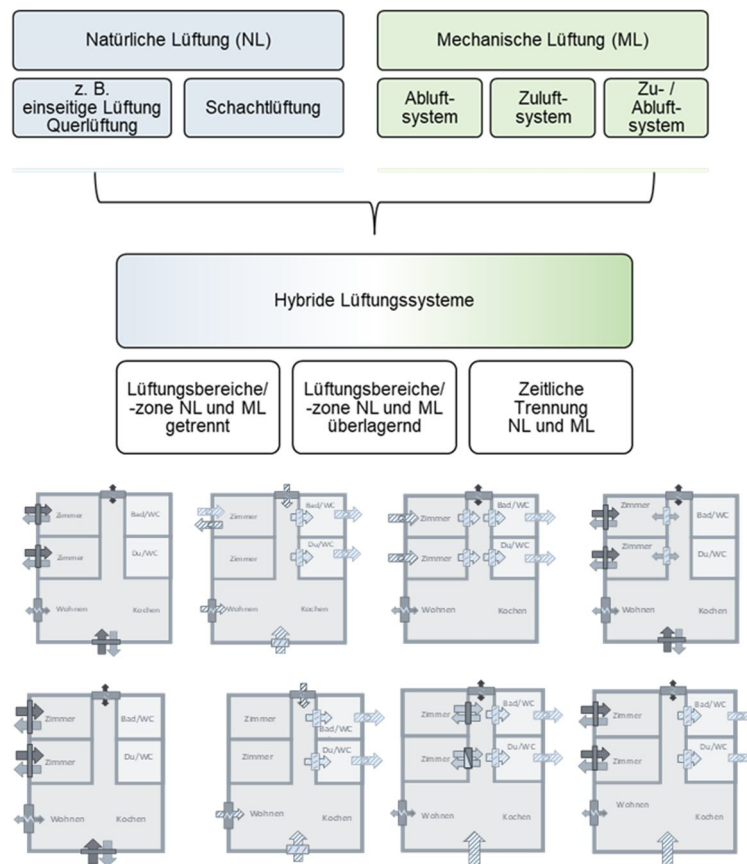




07.02.2023

HyLue : Hybride Lüftung – ein guter Kompromiss?



Quelle: FHNW/HSLU



n|w Fachhochschule Nordwestschweiz
Hochschule für Architektur, Bau und Geomatik

HSLU Hochschule
Luzern

Datum: 07.02.2023

Ort: Bern

Subventionsgeberin:

Bundesamt für Energie BFE
Sektion Energieforschung und Cleantech
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Subventionsempfänger:innen:

Fachhochschule Nordwestschweiz FHNW / Institut Nachhaltigkeit und Energie am Bau
CH-4132 Muttenz
www.fhnw.ch

Hochschule Luzern / Institut für Gebäudetechnik und Energie
CH-6048 Horw
www.hslu.ch

Autorinnen und Autoren:

Caroline Hoffmann, IEBAu, FHNW, Caroline.Hoffmann@fhnw.ch
Alex Primas, HSLU, alex.primas@hslu.ch
Claudia Hauri, IGE, HSLU, claudia.hauri@hslu.ch
Viktor Dorer, viktor.dorer@bluewin.ch
Heinrich Huber, HSLU, heinrich.huber@hslu.ch

BFE-Projektbegleitung:

Nadège Vetterli, nadege.vetterli@anex.ch
Andreas Eckmanns, andreas.eckmanns@bfe.admin.ch

BFE-Vertragsnummer: SI/502192-01

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autorinnen und Autoren dieses Berichts verantwortlich.



Zusammenfassung

Dieses Projekt fokussiert auf hybride Lüftungen, als Kombination aus natürlicher und mechanischer Lüftung, in Wohn- und Bürobauten. Bei heutigen Bestandsbauten ist vermutlich in den meisten Fällen ein hybrides Lüftungssystem im Einsatz. Als hybrides System gilt zum Beispiel die Kombination von Abluftventilatoren in den Nasszellen respektive einer Kochstellenentlüftung mit einer Fensterlüftung in den übrigen Räumen; unabhängig davon, wie die Nachströmung der Ersatzluft gelöst ist. Da diese Anlagen Teil der Planungsrealität sind, gleichzeitig aber keine Planungshilfen oder eine Norm existieren, besteht hier ein Bedarf. Ziel des Projektes ist daher, das aktuelle Wissen zu bündeln, Lücken zu identifizieren und zusammenzustellen. Damit wird die Basis für Planungsgrundlagen in Form einer SIA Norm zur hybriden Lüftung gelegt. In zwei Themenfeldern werden Erkenntnisse generiert und speziell beim zweiten Themenblock mit Fachexpertinnen und -experten aus der Forschung und Praxis im Rahmen von Workshops abgestimmt:

- Beschrieb hybride Lüftungssysteme mit Relevanz für Schweizer Bauwesen:
Anhand einer umfassenden Literaturrecherche werden sieben hybride Lüftungssysteme identifiziert, beschrieben und bewertet, die für den Grossteil der schweizerischen Wohn- und Bürogebäude eine Relevanz haben. Der bisher unscharfe Begriff der hybriden Lüftung wird definiert und abgegrenzt.
- Identifikation Planungsthemen / Forschungsfragen im Zusammenhang mit hybrider Lüftung:
Die im Zusammenhang mit hybrider Lüftung wichtigen Punkte werden erfasst. Aus der Literaturrecherche werden neben systembedingten Stärken und Schwächen auch häufig beobachtete Mängel und bekannte Verbesserungspotentiale beschrieben. Eine der häufigsten Ursachen für Problemstellungen sind unterschiedlich (strenge) Anforderungen an natürliche und mechanische Lüftungssysteme. Ein Beispiel ist die thermische Behaglichkeit im Winter. Eine weitere Problemquelle ist die Exponiertheit von hybriden Lüftungssystemen gegenüber den Aussenbedingungen (Luftbelastung, Lärm, extreme Aussentemperaturen), die sich beispielsweise aus Nachströmöffnungen für die natürliche Lüftung ergibt. Die Frage der unterschiedlichen Anforderungen ist zugleich auch eine wichtige offene Forschungsfrage. Ein weiterer offener Punkt ist, welche Zuluft- und Abluftvolumenströme bei natürlicher Lüftung zu erwarten sind.

Die Projektergebnisse sind eine Definition des Begriffs «Hybride Lüftung», die Vorstellung der gängigsten hybriden Lüftungssysteme und ihre Bewertung, die systematische Erfassung der Planungsthemen und Forschungsfragen im Zusammenhang mit hybrider Lüftung, Vorschläge für normative Lösungsansätze und Hinweise für die Normierung. Eine der Normen, in welche die Projektergebnisse einfließen, ist "SIA 382/3: Natürliche und hybride Lüftung von Gebäuden – Allgemeine Grundlagen und Anforderungen". Diese wird ab 2023 erstellt.

Aus einigen Planungsthemen können resultierende Planungshinweise abgeleitet werden, die zusammenfassend dargestellt werden.



Take-home messages

Definition: Eine hybride Lüftung versteht sich als Kombination aus natürlicher und mechanischer Lüftung. Sie kommt häufiger vor als man denkt: immer wenn im Wohnbereich Bereiche über einen Abluftventilator entlüftet werden (z. B. Bad, WC oder Küche) und andere Bereiche über Fensterlüftung be- und entlüftet werden, ist das System strenggenommen ein hybrides Lüftungssystem. Davon ausgehend wird hybride Lüftung wie folgt definiert: *Lüftung, die auf natürliche und mechanische Be- und Entlüftung in der gleichen Nutzungseinheit angewiesen ist und in Abhängigkeit von der gegebenen Situation betrieben wird (mit entweder natürlichen oder mechanischen Antriebskräften bzw. einer Kombination dieser Antriebskräfte). Für die Funktion des Systems sind daher Elemente zur Sicherstellung von natürlicher Lüftung (wie z. B. Fenster, Aussenbauteil-Luftdurchlässe) wie auch der mechanischen Lüftung (Luftkanäle, Ventilatoren) erforderlich.*

Systemvarianten: Für hybride Lüftungen gibt es viele Systemvarianten. Innerhalb der Schweiz werden für den Wohnbereich und Bürogebäude sieben häufig vorkommende Systeme identifiziert. Am häufigsten kommen im Wohnbereich zwei Systeme vor: a) *Manuelle Fensterlüftung mit bedarfsgesteuerter Abluftanlage in Bad / WC* und b) *Mechanische Lüftung mit ergänzender natürlicher Lüftung für Intensiv- oder (saisonalen) Alternativbetrieb.*

Bewertungen:

Was zeigt der Vergleich von hybriden Lüftungssystemen untereinander?

Eine qualitative Bewertung hinsichtlich Energie in den Bereichen Wärmerückgewinnung, Abwärmenutzung, Stromverbrauch (Ventilatoren) und «Einfluss auf den Wärme- und potenziellen Klimakältebedarf» zeigt auf, dass z. B. das System b) in den Bereichen Wärmerückgewinnung und «Einfluss auf Wärme- und den potenziellen Klimakältebedarf» gut abschneidet. Werden zusätzlich weitere Aspekte wie thermische Behaglichkeit, Raumluftqualität, Akustik, Robustheit (Nutzerverhalten), Sicherheit (Brandschutz, Einbruchsschutz), Materialökologie und Ökonomie betrachtet, so ist für die Bewertung der gewählte Schwerpunkt massgeblich. Beispielsweise schneidet System a) bezogen auf Material-, Raumbedarf und Ökonomie gut ab, System b) wird in den meisten Kategorien, ausser in genau diesen Bereichen gut bewertet.

Was zeigt der Vergleich von hybriden mit natürlichen und mechanischen Lüftungssystemen hinsichtlich energetischer Aspekte?

Im Vergleich zu einer unkontrollierten Lüftung über gekippte Fenster sind, bei vergleichbarer Raumluftqualität (im Sinne einer maximalen CO₂-Konzentration), die Lüftungswärmeverluste bei Konzepten mit hybrider Lüftung oder bei einfachen Lüftungssystemen mit Aussenbauteilluftdurchlässen bis zu maximal 15 % tiefer. Bezogen auf die graue Energie und auf Treibhausgasemissionen haben Luftleitungen einen grossen Anteil an der Belastung durch das Lüftungssystem. Mit ihrer Minimierung kann eine Reduktion aus der Erstellung für die Lüftungstechnik von etwa 20 - 40 % erreicht werden.

Was gibt es beim Entscheid für oder gegen eine hybride Lüftung noch zu bedenken?

Mit einer guten, meist auch gewerkeübergreifender Planung können im Idealfall die Vorteile einer mechanischen Lüftung (z.B. konstante Raumluftqualität, garantierte Feuchteschutzlüftung, Wärmerückgewinnung) mit denen einer natürlichen Lüftung (z. B. Nutzereinfluss, Nachtlüftung, reduzierter Technikaufwand) kombiniert werden. Garantierte und konstante Anforderungen an die Luftqualität und an den thermischen Komfort sind durch den Anteil der natürlichen Lüftung allerdings nicht erfüllbar. Wie bei mechanischen Systemen ist insbesondere bei hybriden Lüftungen eine Nutzervereinbarung zu empfehlen.

Planung: Hybride Lüftungssysteme bedürfen einer gewerkeübergreifenden Planung. Spezifische Komponenten wie Aussenbauteil-Luftdurchlässe, Fensterlüfter und Überströmelemente sowie die Regelung benötigen durch das Zusammenspiel aus mechanischer und natürlicher Lüftung bei der Planung erhöhte Sorgfalt. Es gibt aber bei der natürlichen Lüftung keine Anforderungen bezüglich Luftraten und der zu liefernden Luftqualität, und auch keine Anforderungen an das



Zusammenwirken beider Systeme. Mit dem Potential für eine breite Anwendung in Sanierung und Neubau, und für die entsprechende Energieeinsparung, besteht ein generelles Interesse, die Planung von hybriden Systemen zu erleichtern. Trotzdem gibt es bis jetzt für hybride Lüftungssysteme keine Planungshilfe oder Norm, und in Energienachweisen sind sie unbefriedigend erfasst. Normativ gut abgedeckt sind mechanische Lüftungssysteme. Das Projekt gibt erste praxisnahe Planungshinweise und legt die Basis für umfassende Planungsgrundlagen in Form der neu zu erstellenden SIA Norm 382/5 «Natürliche und hybride Lüftung von Gebäuden – Allgemeine Grundlagen und Anforderungen». Die Erstellung der Norm beginnt im Jahr 2023.



Résumé

Ce projet porte sur la ventilation hybride, une combinaison de ventilation naturelle et mécanique, employée dans les immeubles d'habitation et de bureaux. Dans la plupart des bâtiments existants, un système de ventilation hybride est probablement actuellement utilisé. La désignation "système hybride" recouvre, par exemple, la combinaison de ventilateurs d'extraction dans les salles d'eau ou d'une ventilation des cuisines avec une aération par les fenêtres dans les autres pièces, indépendamment de la manière de procurer l'air frais de remplacement. Comme ces installations font partie de la planification, mais qu'il n'existe aucune aide à leur planification ni aucune norme, il en résulte un besoin dans ce domaine particulier. L'objectif du projet est donc de rassembler les connaissances actuelles, d'identifier les lacunes et de les organiser. Cela permettra d'obtenir des bases de planification pour la ventilation hybride sous forme d'une norme SIA. Les conclusions générées seront classées dans deux blocs thématiques et, en particulier pour le deuxième bloc, validées avec des experts issus de la recherche et de la pratique au cours d'ateliers de travail:

- Description des systèmes de ventilation hybrides existants dans le bâtiment suisse:
Sept systèmes de ventilation hybrides sont identifiés, décrits et évalués sur la base d'une recherche bibliographique approfondie, qui sont pertinents pour la majorité des bâtiments d'habitation et de bureaux suisses. Le terme ventilation hybride, jusqu'à présent flou, est défini et délimité.
- Identification des thèmes de planification / questions de recherche touchant la ventilation hybride:
Les points importants en rapport avec la ventilation hybride sont répertoriés. La recherche bibliographique permet de décrire, outre les forces et les faiblesses liées au système, les problèmes fréquemment constatés et les pistes d'amélioration connues. L'une des causes les plus fréquentes de problèmes est l'existence d'exigences (strictes) différentes pour les systèmes de ventilation naturelle et mécanique. Le confort thermique en hiver en est un exemple. Une autre source de problèmes est l'exposition des systèmes de ventilation hybrides aux conditions extérieures (pollution de l'air, bruit, températures extérieures extrêmes), qui résulte par exemple des bouches d'aération prévues pour la ventilation naturelle. Le thème des exigences différentes est en même temps une importante question soulevée par la recherche. Un autre point d'interrogation concerne les débits d'air entrant et sortant auxquels il faut s'attendre en cas de ventilation naturelle.

Les résultats du projet englobent une définition du terme "ventilation hybride", la représentation des systèmes de ventilation hybride les plus courants et leur évaluation, le recensement systématique des thèmes de planification et des questions de recherche en rapport avec la ventilation hybride, des propositions de solutions normatives et des indications pour la normalisation. L'une des normes dans lesquelles les résultats du projet seront intégrés est la "SIA 382/3: Natürliche und hybride Lüftung von Gebäuden – Allgemeine Grundlagen und Anforderungen", qui sera élaborée à partir de 2023.

Certains thèmes de planification aboutissent à des conseils de planification, qui sont présentés de manière synthétique.



Summary

This project focuses on hybrid ventilation, as a combination of natural and mechanical ventilation, in residential and office buildings. In today's existing buildings, a hybrid ventilation system is probably in use in most cases. A hybrid system, for example, is the combination of exhaust fans in the wet rooms or the cooking zone and natural (window) ventilation in the other rooms, regardless of how the replacement air is provided. Since these systems are an integral part of current ventilation concepts, but at the same time no guidelines or building standards exist, there is a need for information. The aim of the project is therefore to bundle and compile current knowledge and to identify knowledge gaps. This will provide the basis for the development of planning principles in the form of an SIA standard on hybrid ventilation. Findings are generated mainly in the following two subject areas and, especially in the second area, are coordinated with experts from research and practice within the framework of workshops:

- Description of hybrid ventilation systems with relevance for Swiss building sector:
Based on a comprehensive literature review, seven hybrid ventilation systems are identified, described and evaluated that have relevance for the majority of Swiss residential and office buildings. The hitherto vague term of hybrid ventilation is defined and delimited.
- Identification of planning topics / research questions in connection with hybrid ventilation:
The most important issues in connection with hybrid ventilation are identified. From the literature research, frequently observed deficiencies and known potential for improvement are described in addition to system-related strengths and weaknesses. One of the most common causes of problems is the varying strictness of requirements for natural and mechanical ventilation systems. One example is thermal comfort in winter. Another source of problems is the exposure of users due to hybrid ventilation systems to outdoor conditions (air pollution, noise, extreme outdoor temperatures), which results, for example, from air vent openings for natural ventilation. The issue of the divergent strictness is also an important open research question. Another unanswered question is which volume flow rates for supply air and exhaust air are to be expected with natural ventilation.

The results of the project are a definition of the term "hybrid ventilation", the presentation of the most common hybrid ventilation systems and their evaluation, the systematic compilation of planning topics and research questions related to hybrid ventilation, proposals for approaches involving building standards and advice for the standardization itself. One of these is a new Swiss standard concerning natural and hybrid ventilation, "SIA 382/3: Natürliche und hybride Lüftung von Gebäuden – Allgemeine Grundlagen und Anforderungen", which will be produced from 2023. Resulting planning instructions that can be derived from some planning topics are summarized.



Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	3
Take-home messages	4
Résumé.....	6
Summary	7
Inhaltsverzeichnis	8
Abkürzungsverzeichnis	12
Glossar	14
1 Ausführliche Zusammenfassung.....	17
1.1 Einführung.....	17
1.1.1 Ausgangslage.....	17
1.1.2 Ziel des Projektes	17
1.1.3 Zielgruppe des Berichtes	17
1.2 Methodik.....	17
1.2.1 Eingrenzung	18
1.2.2 Literaturrecherche.....	18
1.2.3 Systematischer Ansatz zur Erfassung der Planungsthemen	18
1.2.4 Praxisbezug.....	19
1.3 Ergebnisse	19
1.3.1 Hybride Lüftung: Definition – Systeme – Bewertung	19
1.3.2 Normativer Kontext.....	21
1.3.3 Planungsthemen im Zusammenhang mit hybrider Lüftung	23
1.3.4 Zusammenfassung offene Forschungsfragen.....	27
1.3.5 Zusammenfassung Vorschläge normativer Lösungsansätze	28
1.3.6 Zusammenfassung resultierende Planungshinweise	29
1.3.7 Ist hybride Lüftung ein guter Kompromiss?	31
1.4 Ausblick.....	32
2 Einleitung.....	33
2.1 Ausgangslage und Hintergrund.....	33
2.2 Motivation des Projektes.....	35
2.3 Projektziele.....	35
2.4 Aufbau des Berichtes.....	36
3 Vorgehen und Methode	38
3.1 Abgrenzungen	38
3.2 Arbeitspaket 1: Literaturrecherche, Begriffsdefinition und Systeme.....	38
3.3 Arbeitspaket 2: Planungsthemen.....	38
3.4 Arbeitspaket 3: Workshop Planungsthemen	39



3.5	Arbeitspaket 4: Abklärung, ob Adressierung Planungsthemen mit vorhandenem Wissen möglich oder Identifikation Wissenslücke	39
3.6	Arbeitspaket 5: Bericht / Workshop Erkenntnisse	39
4	Literaturrecherche	40
4.1	Nationale Forschungsprojekte, CH.....	40
4.2	Internationale Forschungsprojekte	41
4.2.1	IEA Projekte	41
4.2.2	EU-Projekte	42
4.2.3	Dissertationen.....	43
4.3	Scientific Papers (Peer Reviewed)	43
4.4	Demonstrationsprojekte	44
4.4.1	Übersicht	44
4.4.2	National, CH	45
4.4.3	International (Schwerpunkt Deutschland und Europa)	46
4.5	Produkte.....	48
4.5.1	Übersicht Produktgruppen	48
4.5.2	Übersicht Produkte (und Komponenten).....	48
4.6	Normen	52
4.6.1	Schweiz: SIA 382/5:2021	53
4.6.2	Schweiz: SIA 382/1:2014	55
4.6.3	Schweiz: SIA 180:2014.....	55
4.6.4	Schweiz: Normen, die indirekt, oder direkt hybride Systeme behandeln, bzw. erwähnen	56
4.6.5	Normen EU-Länder.....	57
5	Hybride Lüftung: Definition – Systeme – Bewertung.....	60
5.1	Hybride Lüftung: Definitionen gemäss Literatur	60
5.1.1	Schlussfolgerung	62
5.2	Hybride Lüftung: Definitionsvorschlag für Projekt	62
5.3	Einordnung der Hybridlüftungssysteme	63
5.4	Systeme von hybriden Lüftungen	68
5.4.1	Hintergrund und Einleitung.....	68
5.4.2	Allgemeiner Ansatz der Darstellung	69
5.4.3	Wohnen: Manuelle Fensterlüftung mit bedarfsgesteuerter Abluftanlage in Bad/WC	71
5.4.4	Wohnen: Mechanische Lüftung mit ergänzender natürlicher Lüftung für Intensiv- oder (saisonalen) Alternativbetrieb.....	74
5.4.5	Wohnen: Mischsystem mit parallelem Betrieb von mechanischer und natürlicher Lüftung.....	77
5.4.6	Wohnen: Mechanische Grundlüftung mit freier Verteilung	79
5.4.7	Wohnen: Natürliche Lüftung mit Fenstern und ALD, sowie unterstützende Abluftanlage	82
5.4.8	Vorbemerkung Büro.....	85
5.4.9	Büro: Mechanische Lüftung mit unterstützender Nachtlüftung im Sommer durch natürliche Lüftung	85



5.4.10	Büro: Verbundlüftung mit aktiven Überströmern, natürliche Lüftung des Verbundbereichs.....	86
5.4.11	Wohnen und Büro: Abluft mit natürlicher Schachtlüftung und Ventilatorunterstützung.....	86
5.5	Energie.....	88
5.5.1	Abschätzung Einsparungspotential	88
5.5.2	Hybride Lüftungssysteme im Vergleich	88
5.6	Qualitative Bewertung von HLS Systemen	91
5.6.1	Bewertungskriterien	91
5.6.2	Bewertung typischer Systeme mit hybrider Lüftung	92
6	Planungsthemen im Zusammenhang mit hybrider Lüftung	95
6.1	Vorbemerkungen	95
6.2	Projektierung – Anforderungen (SIA 382/5, Kap. 2).....	96
6.2.1	Planungsablauf (Allgemein)	96
6.2.2	Planungsverantwortung für hybrides Lüftungssystem (Allgemein)	98
6.2.3	Welche Art der Anforderungen ist für hybride Lüftungssysteme sinnvoll? (Allgemein).....	100
6.2.4	Bauliche Anforderungen (SIA 382/5, Kap. 2.1).....	103
6.2.5	Behaglichkeit (SIA 382/5, Kap. 2.2).....	104
6.2.6	Energiebedarf (SIA 382/5, Kap. 2.3).....	117
6.2.7	Lebensdauer, Betriebssicherheit und Brandschutz (SIA 382/5, Kap. 2.4).....	120
6.2.8	Fazit für die Praxis: Projektierung – Anforderungen.....	122
6.3	Projektierung – Auslegungskriterien (SIA 382/5, Kap. 3)	122
6.3.1	Allgemeines (SIA 382/5, Kap. 3.1)	122
6.3.2	Aussenbedingungen (SIA 382/5, Kap. 3.2).....	122
6.3.3	Gebäudedaten (SIA 382/5, Kap. 3.3)	125
6.3.4	Nutzungsdaten (SIA 382/5, Kap. 3.4).....	126
6.3.5	Behaglichkeit (SIA 382/5, Kap. 3.5).....	127
6.3.6	Fazit für die Praxis: Projektierung – Auslegungskriterien	127
6.4	Projektierung – Lüftungskonzept (SIA 382/5, Kap. 4)	128
6.4.1	Vorgehen (SIA 382/5, Kap. 4.1)	128
6.4.2	Lüftungskonzepte hybride Lüftung	129
6.4.3	Luftführung in Wohneinheiten (SIA 382/5, Kap. 4.4).....	132
6.4.4	Fazit für die Praxis: Projektierung – Lüftungskonzept	136
6.5	Berechnung, Bemessung und technische Anforderungen (SIA 382/5, Kap. 5).....	137
6.5.1	Übersicht (SIA 382/5, Kap. 5.1).....	137
6.5.2	Luftvolumenströme (SIA 382/5, Kap. 5.2).....	137
6.5.3	Lüftungskomponenten (SIA 382/5, Kap. 5.3).....	142
6.5.4	Lüftungssysteme (SIA 382/5, Kap. 5.4)	152
6.5.5	Energetische Anforderungen und Luftdichtheit (SIA 382/5, Kap. 5.5).....	152
6.5.6	Fazit für die Praxis: Berechnung, Bemessung und technische Anforderungen.....	155
6.6	Prüfungen (SIA 382/5, Kap. 6)	155



6.6.1	Grundsätze der Übergabe (SIA 382/5, 6.1 und Grundsätze SIA 382/5, 6.2).....	155
6.6.2	Funktionsmessungen (SIA 382/5, Kap. 6.3)	156
6.6.3	Instruktion (SIA 382/5, Kap. 6.4)	158
6.6.4	Fazit für die Praxis: Prüfungen	159
6.7	Betrieb und Instandhaltung (SIA 382/5, Kap. 7).....	160
6.7.1	Allgemeines (SIA 382/5, Kap. 7.1)	160
6.7.2	Wartung und Inspektion (SIA 382/5, Kap. 7.2).....	161
6.7.3	Monitoring (SIA 382/5, Kap. 7.4)	162
6.8	Rückbau und Entsorgung (SIA 382/5, Kap. 8)	163
7	Synthese aus der Analyse der Planungsthemen	164
7.1	Zusammenfassung offene Forschungsfragen.....	164
7.2	Zusammenfassung Vorschläge normativer Lösungsansätze	171
7.3	Aus den Planungsthemen resultierende Planungshinweise	176
7.3.1	Vorbemerkung	176
7.3.2	Projektierung – Anforderungen (SIA 382/5, Kap. 2)	176
7.3.3	Projektierung – Auslegungskriterien (SIA 382/5, Kap. 3)	178
7.3.4	Projektierung – Lüftungskonzept (SIA 382/5, Kap. 4)	178
7.3.5	Berechnung, Bemessung und technische Anforderungen (SIA 382/5, Kap. 5)	180
7.3.6	Prüfungen (SIA 382/5, Kap. 6)	182
7.3.7	Betrieb und Instandhaltung (SIA 382/5, Kap. 7).....	183
8	Ausblick	184
9	Anhang 1: Literaturverzeichnis.....	186
10	Anhang 2: Produkte.....	196
10.1	Komponenten/Produkte für passive Luftstromerhöhung	196
10.1.1	Hauben für Fortluftkanäle.....	196
10.1.2	Dachmontierte Abluftkomponenten	197
10.1.3	Dachmontierte Aussenluft- und Fortluft-Komponenten.....	198



Abkürzungsverzeichnis

Akronym	Beschrieb
ALD	Aussenbauteil-Luftdurchlass ¹ (oft auch Aussenluftdurchlass bezeichnet ²)
AWN	Abwärmenutzung
FL	Fensterlüfter ³
HL	Hybride Lüftung
HLS	Hybrides Lüftungssystem, hybride Lüftungssysteme
KNL	Kontrollierte Natürliche Lüftung
LF	Lüftung zum Feuchteschutz: notwendige Lüftungs-Betriebsstufe zur Sicherstellung des Bautenschutzes (Feuchte) unter üblichen Nutzungsbedingungen bei teilweise reduzierten Feuchtelasten; z. B. zeitweilige Abwesenheit der Nutzenden und kein Wäschetrocknen in der Nutzungseinheit (Minimalbetrieb Feuchte) (Basis DIN 1946-6:2019 dort mit Abkürzung FL verwendet)
LG	Lüftung im Grundbetrieb; Grundlüftungsbetrieb: Reduzierter Lüftungsbetrieb bei Abwesenheit von Personen. (SIA 382/5:2021 [1], 1.1.2.4)
LI	Lüftung im Intensivbetrieb; Intensivlüftungsbetrieb: Lüftungsbetrieb, welcher nur bei ausnahmsweise starker Belastung oder ausserhalb der eigentlichen Nutzungszeit (z. B. Nachtauskühlung) zur Anwendung kommt. (SIA 382/5:2021 [1], 1.1.2.5)
LN	Lüftung im Normalbetrieb; Normallüftungsbetrieb: Betrieb einer Lüftungsanlage gemäss Bemessung. Nicht dazu gehören der Intensivlüftungsbetrieb und der Grundlüftungsbetrieb (SIA 382/5:2021 [1], 1.1.2.3) Gemäss DIN 1946-6:2019: notwendige Lüftungs-Betriebsstufe zur Sicherstellung der hygienischen Anforderungen sowie des Bautenschutzes bei Anwesenheit aller Nutzenden (dort als Nennlüftung mit Abkürzung NL bezeichnet)
NL	Natürliche Lüftung ⁴ (bzw. freie Lüftung; siehe Bemerkungen)
NLS	Natürliches Lüftungssystem, natürliche Lüftungssysteme
ML	Mechanische Lüftung (bzw. «ventilatorgestützte» Lüftung; siehe Bemerkungen)
MLS	Mechanisches Lüftungssystem, mechanische Lüftungssysteme
MMV	Mixed-mode ventilation (natürliche Lüftung kombiniert mit aktiver (maschineller) Kühlung)
PE	Primärenergie
RLQ	Raumluftqualität
RHV	Residential hybrid ventilation
RWA	Rauch- und Wärmeabfuhr
SIA	Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein
WRG	Wärmerückgewinnung

¹ SN EN 12792 verwendet den Begriff Aussenwand-Luftdurchlass

² In SIA 352/5 wird der Begriff Aussenluftdurchlass verwendet für einen Luftdurchlass, durch den Aussenluft direkt oder über eine Luftleitung in eine Lüftungsanlage oder in ein Einzelraum-Lüftungsgerät eintritt.

³ SN EN 12792 (Begriff 399) verwendet für den ALD im Fensterbereich eines Raums den Begriff «im Fenster eingebauter Luftdurchlass». In DIN 1946-6:2019 wird die Abkürzung **FL** für «Lüftung zum Feuchteschutz» verwendet.

⁴ In DIN 1946-6:2019 wird die Abkürzung **NL** für «Nennlüftung» verwendet



Bemerkung zu den Begriffen Natürliche Lüftung und Mechanische Lüftung:

In diesem Bericht werden die Begriffe «Natürliche Lüftung» und «Mechanische Lüftung» entsprechend SIA 382/5:2021 [1] verwendet. Diese Begriffe werden auch in den Normen SIA 382/1:2014 [2], und SIA 180:2014 [3] verwendet.

In verschiedenen Normen wird der Begriff «Natürliche Lüftung» als «freie Lüftung» bezeichnet (z. B. in SN EN 13465:2004 [4], SN EN 14134:2019 [5], SN EN 15242:2007 [6], SN EN 15251:2007 [7], SN EN 15665:2009 [8], SN EN 16798-17:2017 [9], SN EN 12792:2003 [10])

Der Begriff «mechanische Lüftung» wird in verschiedenen Normen «ventilatorgestützte Lüftung» (z. B. in SN EN 14134:2019 [5], SN EN 15242:2007 [6], SN EN 15665:2009 [8], SN EN 16798-17:2017 [9], SN EN 12792:2003 [10]) oder «maschinelle Lüftung» genannt (z. B. in SN EN 15251:2007 [7], SN EN 13465:2004 [4]).



Glossar

Begriff	Definition
Aktive (maschinelle) Kühlung	«Kühlung eines Raums oder eines Gebäudes mit maschinellen Hilfsmitteln. Anmerkung 1: Hierzu gehören Kühlung der Zuluft, Ventilator-konvektoren, gekühlte Oberflächen usw. Anmerkung 2: Das Öffnen von Fenstern am Tag und in der Nacht oder eine mechanische Versorgung mit kalter Aussenluft gelten nicht als maschinelle Kühlung. [in Anlehnung an SN EN 16798-1:2019]» Entnommen aus: prSIA 382/1:2022
Aktiver Überströmer	«Bauelement, das mit Kleinstventilatoren die Überströmluft in den oder aus dem Raum fördert.» Entnommen aus: SIA 382/5:2021
Aussenbauteil-Luftdurchlass (ALD)	«Luftdurchlass, der das geplante Durchströmen von Luft durch die Gebäudehülle bei geringstmöglichem Eindringen von Regen, Schnee, Fremdkörpern usw. ermöglicht. Analog wird auch der Begriff Aussenluftdurchlass verwendet. [in Anlehnung an SN EN 12792, Begriff 144]» Entnommen aus: SIA 382/5:2021
Basissystem	Als Basissystem wird der Teil der hybriden Lüftung bezeichnet, welcher im Normalbetrieb der Lüftung (Nennbetrieb) den überwiegenden Teil der Lüftung erbringt. Diese Einordnung kann sich z. B. an einen häufig vorkommenden Betriebsfall (Betriebszeit, Aussenbedingungen etc.) anlehnen.
Fensterlüfter	Luftdurchlass im Bereich des Fensters, der das geplante Durchströmen von Luft durch die Gebäudehülle bei geringstmöglichem Eindringen von Regen, Schnee, Fremdkörpern usw. ermöglicht. Im Projektkontext sind Fensterlüfter passive Einrichtungen (ohne Ventilator)
Feuchteschutzlüftung	Lüftung nur gemäss Bemessung auf Feuchtelasten (z. B. Lüftung zur Sicherstellung des Bautenschutzes).
Grundlüftung	«Reduzierter Lüftungsbetrieb bei Abwesenheit von Personen.» Entnommen aus: SIA 382/5:2021



Begriff	Definition
Intensivlüftung, Intensivlüftungsbetrieb	«Lüftungsbetrieb, welcher nur bei ausnahmsweise starker Belastung oder ausserhalb der eigentlichen Nutzungszeit (z. B. Nachtauskühlung) zur Anwendung kommt.» Entnommen aus: SIA 382/5:2021
Kaskadenlüftung	«Belüftung von Räumen in Serie, mit Luftzuführung in den Räumen mit geringer Raumluftbelastung und Luftabführung in den Räumen mit grosser Raumluftbelastung.» Entnommen aus: SIA 382/5:2021
Lüftung	«Prozess der Zufuhr oder des Entfernens von Luft in einen Raum oder ein Gebäude hinein oder aus einem Raum oder Gebäude hinaus durch natürliche oder mechanische Mittel. [SN EN ISO 52000-1]» Entnommen aus: prSIA 382/1:2022
Lüftungsanlage	«Kombination von Geräten zur Versorgung von Innenräumen mit Aussenluft und zur Abführung verschmutzter Raumluft. [SN EN 16798-3: 2017]» Entnommen aus: prSIA 382/1:2022
Lüftungskonzept	«Alle planerischen Massnahmen, die einen definierten Luftaustausch zum Ziel haben.» Entnommen aus: SIA 382/5:2021 Anmerkung: Der Begriff umfasst geplante, aber auch realisierte Lüftungen.
Lüftungsmethode	«Oberbegriff für die Art und Weise, wie ein Luftaustausch bewirkt wird (mechanisch oder natürlich, mit Unterkategorien).» Entnommen aus: prSIA 382/1:2022
Lüftungssystem	«Gesamtsystem, bestehend aus Lüftungsanlage und dem Raum bzw. Gebäude, in dem sich der Luftaustausch abspielt.» Entnommen aus: SIA 382/5:2021 Anmerkung: Umfasst auch die natürliche Lüftung.
Mechanische Lüftung	«Luftaustausch, angetrieben von einem oder mehreren Ventilatoren.» Entnommen aus: SIA 382/5:2021 Anmerkung: beispielsweise umfasst dies einfache Lüftungsanlage, Abluftanlagen, RWA (Ventilator), aktive Überströmer oder sonstige Systeme mit Ventilatoren.
Nachtlüftung	Lüftung zum Zwecke der Nachtauskühlung.



Begriff	Definition
Natürliche Lüftung	«Luftaustausch, angetrieben von wind- und/oder thermischen Kräften (Fensterlüftung, thermische Lüftung über einen Schacht sowie Infiltration und Exfiltration).» Entnommen aus: SIA 382/5:2021 Anmerkung: Die Lüftungsöffnungen können auch Dachaufsätze, Aussenbauteil-Luftdurchlässe und RWA Klappen sein.
Normallüftung, Normallüftungsbetrieb	«Betrieb einer Lüftungsanlage gemäss Bemessung.» Entnommen aus: SIA 382/5:2021
Raumluftqualität	«Die Anforderungen an die Raumluftqualität und das Lüftungskonzept sind grundsätzlich in SIA 180 [:2014], Ziffern 3.1 und 3.2, und in SIA 382/1 [:2014], Ziffer 2.2.6, festgelegt. [...] Die Raumluftqualität [...] muss so sein, dass sie keine Belästigung und kein Gesundheitsrisiko für die Nutzer/Bewohner darstellt.» [es folgen Angaben zu Schadstoffkonzentrationen]. Entnommen aus: SIA 382/5:2021 Kommentare: In SIA 382/1:2014 wird Raumluftqualität in RAL Klassen unterteilt (Tab. 8). In prSIA 382/1:2022-06 wird das Innenraumklima (IEQ, der Begriff bezieht sich umfassend auf das thermische Raumklima, die Raumluftqualität, die Beleuchtung und die Akustik) bezüglich der Raumluftqualität in IDA Klassen unterteilt.
Überström-Luftdurchlass	«Einrichtung, die das Durchströmen von Luft zwischen zwei Innenräumen ermöglicht. [SN EN 12792, Begriff 232]» Anmerkung: der Luftdurchlass ist passiv (siehe auch aktiver Überströmer). Entnommen aus: SIA 382/5:2021
Verbundlüftung	«Der gesamte Zuluft-Volumenstrom wird an einer Stelle in die Wohneinheit eingebracht. Mit aktiven Überströmern wird die Überströmluft in die Räume geführt.» Entnommen aus: SIA 382/5:2021
Zentrale Lüftung	«Zentral im Gebäude angeordnete ventilatorgestützte Lüftungsanlage für die Lüftung einer oder mehreren ein- oder mehrgeschossigen Nutzungseinheiten» Entnommen aus DIN 1946-6:2019, dort als «Zentralventilator-Lüftungsanlage» bezeichnet.



1 Ausführliche Zusammenfassung

1.1 Einführung

1.1.1 Ausgangslage

Hybride Lüftungssysteme als Kombination von natürlicher und mechanischer Lüftung sind sehr weit verbreitet. Selbst in «eigentlich» natürlich belüfteten Wohnungen gibt es häufig eine bedarfsgesteuerte, mechanische Abluftanlage für die Nassräume und die Kochstelle. Die Ersatzluft der Abluftanlage trägt zur Grundlüftung der Zimmer bei. Strenggenommen zählt diese Art der Lüftung dann zu den hybriden Systemen. Das Zusammenwirken von natürlicher und mechanischer Lüftung kann räumlich oder zeitlich getrennt sein, oder die Lüftungsbereiche können sich überlagern. Trotz dieser weiten Verbreitung in der Praxis sind hybride Lüftungen in der Schweiz bislang nicht normativ geregelt und der Begriff ist unscharf definiert. Normativ gut abgedeckt sind mechanische Lüftungen, aber für das Zusammenwirken von mechanischer und natürlicher Lüftung gibt es keine Planungshilfen und Planungsregeln, die auf schweizerische Verhältnisse zugeschnitten sind.

Im Vergleich zu einer unkontrollierten Lüftung über gekippte Fenster sind, bei vergleichbarer Luftqualität (im Sinne einer maximalen CO₂-Konzentration), die Lüftungswärmeverluste bei Konzepten mit hybrider Lüftung oder vereinfachten Lüftungskonzepten mit Aussenbauteilluftdurchlässen bis zu maximal 15 % tiefer. Da die Luftverteilung einen grossen Anteil der Belastung aus den verwendeten Materialien ausmacht, kann durch Reduktion der Luftleitungen eine Reduktion der grauen Energie bzw. von Treibhausgasemissionen aus der Erstellung von etwa 20-40 % erreicht werden. Mit diesem Energieeinsparungspotential besteht ein Interesse daran, die Planung von solchen Systemen zu erleichtern.

1.1.2 Ziel des Projektes

Ziel des Projektes ist es, das aktuelle Wissen zu bündeln, Lücken zu identifizieren und zusammenzustellen. Damit wird die Basis für Planungsgrundlagen zur hybriden Lüftung gelegt. Durch die richtige Dimensionierung von hybriden Lüftungen kann das Lüftungssystem in Bezug auf Raumluftqualität, Energie, Akustik und thermische Behaglichkeit optimal betrieben werden. So können unerwünschte benutzerinduzierte Manipulationen (z. B. Abkleben von Fensterlüftern wegen Zugerscheinungen) am Lüftungssystem vermieden werden. Die Ergebnisse des Projektes fliessen in eine geplante Norm des Schweizerischen Ingenieur- und Architektenvereins, SIA, zu natürlichen und hybriden Lüftungen ein. Nachfolgend können dann auf dieser SIA Norm basierende Planungshandbücher und -richtlinien erstellt werden.

1.1.3 Zielgruppe des Berichtes

Zielgruppe des vorliegenden Berichtes sind prioritär Fachexperten (z. B. in Normung, Fachstellen, Planungsbüros). Ein breites Fachpublikum wird noch nicht angesprochen, da sehr einfache Planungsrezepte kaum verfügbar und auch zuerst mit der zukünftigen Normung abzustimmen sind.

1.2 Methodik

Das notwendige Grundlagenwissen für hybride Lüftungen ist durch nationale und internationale Forschungsprojekte, die in den letzten Jahren durchgeführt wurden, grösstenteils gegeben. Allerdings ist das vorhandene Wissen nicht gut erschlossen, Querbezüge sind nicht hergestellt und mögliche Wissenslücken sind nicht klar definiert. Daher ist eine Literaturrecherche integraler Teil des Projektes. Die Literatur wird auf zentrale Schlüsselthemen hin ausgewertet.



1.2.1 Eingrenzung

Der Bericht konzentriert sich auf Wohngebäude und Bürogebäude. Hybride Systeme, die eine aktive (maschinelle) Kühlung oder eine aktive Befeuchtung beinhalten, werden nicht berücksichtigt.

1.2.2 Literaturrecherche

Für den Bericht wurden über 100 Referenzen berücksichtigt und ausgewertet. Im Kapitel 'Literaturrecherche' werden relevante Artikel aus Fachzeitschriften und «Scientific Journals», nationale und internationale Forschungsprojekte, Normen, Demonstrationsprojekte, sowie Produkten und Komponenten zusammengefasst. Die Suche erfolgt systematisch (z. B. nach Schlagworten) und rückwärts gerichtet (z. B. Durchsicht Literaturverzeichnis zentraler Arbeiten). Das Kapitel 'Literaturrecherche' hat den folgenden Umfang:

- Nationale Forschungsprojekte CH: 12 Projekte
- Internationale Forschungsprojekte
 - IEA Projekte: 2 (7 Quellen),
 - EU Projekte: 1 (5 Quellen),
- Dissertationen: 4
- Scientific Papers (peer reviewed): 6
- Demonstrationsprojekte: 9 Wohnbauten und 12 Bürobauten
- Produkte a) mit Bezug zu Demonstrationsprojekten: 19, b) andere: 15
- Normen: Schweiz: 9, CEN: 6

Kriterien für die Berücksichtigung der Literatur sind hauptsächlich die Relevanz für das Thema hybride Lüftung und bei den Demonstrationsprojekten, dass Messungen (1. Priorität), Nutzerbefragungen oder Simulationen (2. Priorität) durchgeführt wurden. Aus der gesichteten Literatur werden Planungsthemen gefiltert, die für die hybride Lüftung bedeutsam sind. Dazu zählen Fehlerquellen, Fragestellungen, die noch unbeantwortet sind, sowie allgemeine und normative Lösungsansätze. Weiter werden Definitionen für hybride Lüftungen gesammelt und ausgewertet. Die Normenrecherche dient dazu, den normativen Kontext von hybriden Lüftungen einzugrenzen.

1.2.3 Systematischer Ansatz zur Erfassung der Planungsthemen

Ein wichtiger Teil der Projektarbeit ist die Zusammenstellung von zentralen Planungsthemen. Dies sind Probleme, mögliche Fehlerquellen und kritische Punkte im Kontext des heutigen Planungsalltags. Das Kapitel «Planungsthemen im Zusammenhang mit hybrider Lüftung» ist bewusst gemäss der Struktur von SIA 382/5:2021 [1] gegliedert. Damit ist gewährleistet, dass die für eine Norm zum Thema Lüftung wichtigen Themen alle systematisch erfasst und auch auffindbar sind. Nachteilig an dieser Vorgehensweise ist, dass gewisse Themen mehrfach aufgeführt sind, da je nach Unterkapitel Einzelaspekte eines Themas behandelt werden (z. B. wird das Thema Luftqualität im Zusammenhang mit a) Anforderungen und b) mit Prüfungen behandelt).

Die einzelnen Planungsthemen sind durchgehend wie folgt tabellarisch erfasst:

- Identifizierte Probleme / Verbesserungsbedarf resp.-potentiale
- Hinweise zu Anforderungen und Lösungsansätze
- Normative Lösungsansätze (vorhandene Normen / Vorschlag)
- Offene Forschungsfragen



1.2.4 Praxisbezug

Um sicherzustellen, dass die aus der Literatur abgeleiteten Planungsthemen einen Praxisbezug haben, und um relevante Lücken zu vermeiden, wurden während der Projektlaufzeit zwei Workshops (05.10.2021 und 20.09.2022) mit den folgenden Expertinnen und Experten durchgeführt:

- Massimo Fiorentini (Empa)
- Beat Kegel (Kegel Klimasysteme)
- Martin Meier (einfach gut bauen.)
- Beat Frei (Frei Wüest Expert)
- Nadège Vetterli (BFE / Anex Ingenieure AG)

1.3 Ergebnisse

1.3.1 Hybride Lüftung: Definition – Systeme – Bewertung

Aus der Literatur werden insgesamt acht Definitionen von hybrider Lüftung mit variierendem Umfang gewonnen. Zwei Quellen verwenden eine sehr eng gefasste Definition für hybride Lüftung, die auf zwei Kriterien (Fensterlüftung und mechanische Lüftung) basiert. Drei Quellen stützen sich auf eine etwas breitere Definition mit drei Kriterien. Drei Quellen verwenden zur Definition vier oder sechs Kriterien, wie z. B. zusätzlich zur Lüftungsart noch die Steuerung / Regelung und natürliche Antriebe. Für die Bearbeitung des Projektes scheint keine der gegebenen Definitionen genügend präzise, um das ganze Spektrum von hybriden Lüftungen in der Schweiz abzudecken und abzugrenzen. Die projektspezifische Definition wird im folgenden Abschnitt gegeben.

Definition hybride Lüftung

Lüftung, die auf natürliche und mechanische Be- und Entlüftung in der gleichen Nutzungseinheit angewiesen ist und in Abhängigkeit von der gegebenen Situation betrieben wird (mit entweder natürlichen oder mechanischen Antriebskräften bzw. einer Kombination dieser Antriebskräfte). Für die Funktion des Systems sind daher Elemente zur Sicherstellung von natürlicher Lüftung (wie z. B. Fenster, Aussenbauteil-Luftdurchlässe) wie auch der mechanischen Lüftung (z. B. Ventilatoren) erforderlich.

Dabei wird die Art der Kombination in Anlehnung an die Typisierung aus prEN 15665:2022-09-30 [11] erweitert und wie folgt unterteilt:

- *alternativ natürliche / mechanische Lüftung:*
 - *Kriterium zeitlich definiert (Tag / Nacht; Sommer / Winter)*
 - *Kriterium örtlich definiert (Raumnutzung)*
- *Basissystem natürliche Lüftung; unterstützende mechanische Lüftung:*
 - *Kriterium Lüftungsstufe (z. B. nur Lüftung zum Feuchteschutz durch natürliche Lüftung abgedeckt)*
 - *Kriterium Aussenbedingungen (z. B. wenn natürliche Antriebskräfte zu gering)*
- *Basissystem mechanische Lüftung; unterstützende natürliche Lüftung:*
 - *Kriterium Lüftungsstufe (z. B. Querlüftung als Intensivlüftung)*
 - *Kriterium Aussenbedingungen (z. B. Nachtlüftung)*



Grundsätzlich kann eine hybride Lüftung auch aus einer Kombination dieser Typen bestehen und kann gemeinsam genutzte Komponenten beinhalten. In diesen Fällen ist für die Auslegung das Teilsystem massgebend, welches die höheren Anforderungen an die Komponenten hat.

Zugehörige Definitionen:

- Natürliche Lüftung («freie» Lüftung): Lüftung mit Förderung der Luft durch Druckunterschiede infolge von Wind oder Dichtedifferenzen der Luft zwischen aussen und innen, z. B. Fensterlüftung, Schachtlüftung, Dachaufsatzlüftung und Lüftung durch sonstige Öffnungen (z. B. Aussenbauteil-Luftdurchlässe, RWA Klappen).
- Mechanische Lüftung («ventilatorgestützte» Lüftung): Lüftung mit ventilatorgestützter Förderung der Luft, z. B. einfache Lüftungsanlage, Abluftanlagen, RWA (Ventilator), aktive Überströmer oder sonstige Systeme mit Ventilatoren.
- Basissystem: Als Basissystem wird der Teil der hybriden Lüftung bezeichnet, welcher im Normalbetrieb der Lüftung (Nennbetrieb) den überwiegenden Teil der Lüftung erbringt. Diese Einordnung kann sich z. B. an einen häufig vorkommenden Betriebsfall (Betriebszeit, Aussenbedingungen etc.) anlehnen. Für diesen Fall ist das Basissystem auszulegen. In der Planung wird das Basissystem typischerweise zuerst ausgelegt. Im Fall der alternativen natürlichen / mechanischen Lüftung ist das jeweils aktive System das Basissystem.

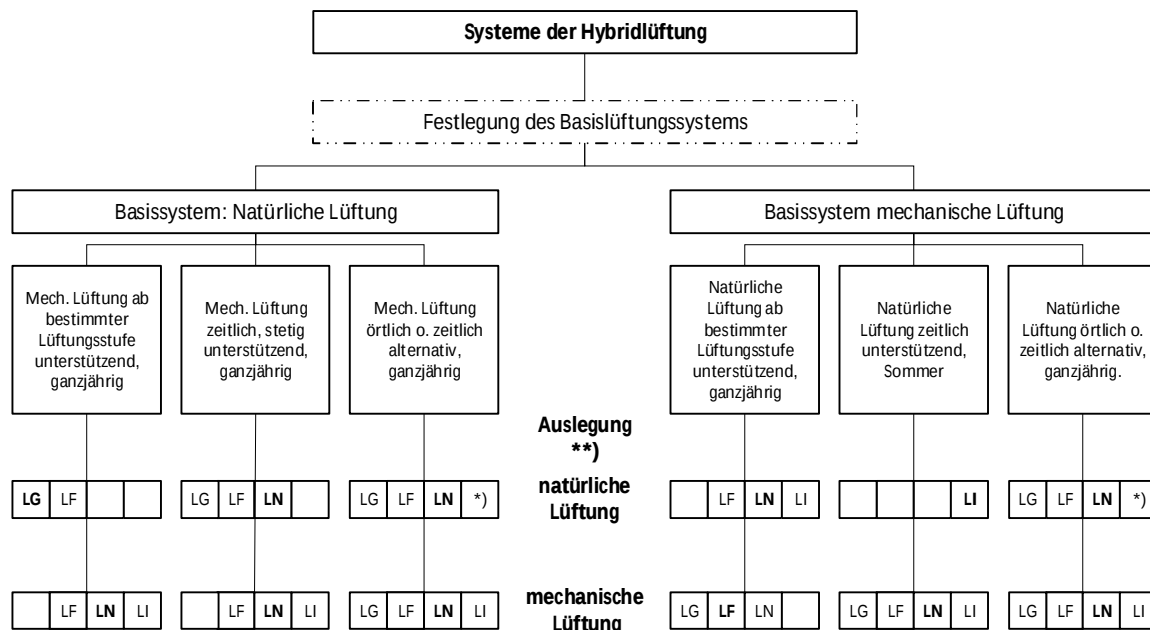
Basierend auf obiger Definition wird eine Systematik vorgeschlagen, um hybride Systeme zu charakterisieren (Abbildung 1). Um eine Einordnung für die Planung vorzunehmen, muss die Aufgabe festgelegt werden, welche die beiden Teilsysteme (natürliche Lüftung resp. mechanische Lüftung) übernehmen. Dabei ist zu definieren, welches Teilsystem das Basissystem und welches das unterstützend wirkende System wird. Die Unterstützung kann zeitlich und / oder räumlich stattfinden.

Um die vorgeschlagene Systematik zur Systemcharakterisierung (Abbildung 1) zu erproben, werden die in der Literaturrecherche identifizierten Demonstrationsprojekte entsprechend erfasst. Damit kann gezeigt werden, dass sich diverse hybride Lüftungssysteme mit dieser Systematik beschreiben lassen.

In einem weiteren Schritt werden exemplarisch Systeme von hybriden Lüftungen dokumentiert und schematisch dargestellt. Diese Systeme sind:

1. Wohnen: Manuelle Fensterlüftung mit bedarfsgesteuerter Abluftanlage in Bad / WC
2. Wohnen: Mechanische Lüftung mit ergänzender natürlicher Lüftung für Intensiv- oder (saisonalen) Alternativbetrieb
3. Wohnen: Mischsystem mit parallelem Betrieb von mechanischer und natürlicher Lüftung
4. Wohnen: Mechanische Grundlüftung mit freier Verteilung
5. Wohnen: Natürliche Lüftung mit Fenstern und ALD, sowie unterstützende Abluftanlage
6. Büro: Mechanische Lüftung mit unterstützender Nachtlüftung im Sommer durch natürliche Lüftung
7. Büro: Verbundlüftung mit aktiven Überströmern, natürliche Lüftung des Verbundbereichs
8. Wohnen und Büro: Abluft mit natürlicher Schachtlüftung und Ventilatorunterstützung (Systembestandteil als Ergänzung für Lüftungskonzept)

Diese Auflistung ist nicht abschliessend, es existieren diverse weitere Varianten. In der Schweiz kommen vermutlich am häufigsten die Systeme 1 und 2 vor. Eine Wärmerückgewinnung oder Abwärmenutzung ist bei sechs Systemen möglich (2, 3, 4, 6, 7 und 8). Nicht alle Systeme entsprechen (z. B. von der Luftführung her) den Anforderungen der derzeit gültigen Schweizer Normen (z. B. wenn die Ersatzluft für die Abluftanlage durch undefinierte Leckagen in der Gebäudehülle bereitgestellt wird).



Legende:

LG = Lüftung im Grundbetrieb

LF = Lüftung zum Feuchteschutz

LN = Lüftung im Normalbetrieb (z. B. Nennlüftung)

LI = Lüftung im Intensivbetrieb

*) eine Intensivlüftung ist grundsätzlich in allen Bereichen mit unterstützender Fensterlüftung erreichbar (Stosslüftung)

**) mögliche typische Auslegung (könnte im Einzelfall jedoch auch abweichend festgelegt sein);
Für die fett gekennzeichnete Lüftungsstufe wird das System in diesem Fall ausgelegt

Abbildung 1: Charakterisierung von Hybridlüftungssystemen für die Planung (diese Abbildung ist mit Abbildung 5 identisch)

Eine qualitative Bewertung zum Thema Energie berücksichtigt die Themen Wärmerückgewinnung, Abwärmenutzung, Stromverbrauch (Ventilatoren) und Einfluss auf Wärme- und den potenziellen Klimakältebedarf. Die Bewertung unterscheidet zwischen «gut», «neutral» und «ungünstig». Das Ergebnis zeigt, dass die Systeme 2, 6 und 7 in jeweils drei Kategorien gut bewertet werden. Werden zusätzlich weitere Aspekte wie thermische Behaglichkeit, RLQ, Akustik, Robustheit (Nutzerverhalten), Sicherheit (Brandschutz, Einbruchsschutz), Materialökologie und Ökonomie betrachtet, so ist für die Bewertung der gewählte Schwerpunkt massgeblich. Beispielsweise schneidet System 1 bezogen auf Material-, Raumbedarf und Ökonomie gut ab, System 2 wird in den meisten Kategorien, ausser in genau diesem Bereich gut bewertet.

1.3.2 Normativer Kontext

Abbildung 2 zeigt wichtige Normen im Zusammenhang mit hybrider Lüftung. Im europäischen Kontext gibt es bislang keine Norm, die ausschliesslich hybride Lüftung und / oder natürliche Lüftung behandelt. Für die Auslegung der natürlichen Lüftung kann z. B. auf die SN EN 16798-7:2017 [12] und den zugehörigen Technical Report (SNG CEN/TR 16798-8:2017 [13]) zurückgegriffen werden. Für den mechanischen Teil der Lüftung sind auf europäischer Ebene SN EN 16798-1:2019 [14], SN EN 16798-3:2017 [15] und SN EN 16798-5-1 [16] / -5-2:2017 [17] (mit den zugehörigen Technical Reports) zutreffend. Es gibt auch einen Entwurf für eine Technische Spezifikation zur natürlichen und hybriden Lüftung in Nicht-Wohngebäuden (PWI 00156256), die Arbeiten dazu sind aber noch nicht offiziell im Arbeitsprogramm der CEN TC 156 aufgenommen. Ab Antragstellung ist gemäss CEN



Regeln mit rund drei Jahren bis zum Normenentwurf zu rechnen, zuzüglich der Zeit für die Erstellung der nationalen Anhänge.

In Deutschland sind für Wohnungen und wohnähnliche Nutzungen mit innenliegenden Bädern, bzw. Toiletten sowohl DIN 1946-6:2019 [18] als auch DIN 18017-3:2020-05 [19] zutreffend. DIN 1946-6:2019 ist für das Lüftungskonzept der gesamten Nutzungseinheit massgeblich, DIN 18017-3:2020-05 definiert die Lüftung innenliegender Bäder bzw. Toiletten. Im DIN-Fachbericht DIN/TS 4108-8:2022-09 [20] geht es um Schimmelwachstum in Wohngebäuden und speziell um die Rolle der Nutzenden bei dessen Vermeidung. Zur Umsetzung Lüftungstechnischer Massnahmen wird auf die DIN 1946-6:2019 verwiesen.

In der Schweiz steht SIA 180:2014 [3] in der Hierarchie über den Lüftungsnormen. Für SIA 180:2014 ist eine Revision geplant. Die Lüftungsnormen sind in der Gruppe 382 «Raumluftechnik» eingeordnet. Die schweizerische Mutternorm zur mechanischen Lüftung in Gebäuden SIA 382/1:202x (derzeit gültig: SIA 382/1:2014 [2]) ist in der Überarbeitung. Zur SIA 382/2:202x, die sich ebenfalls mit mechanischer Lüftung befasst, laufen Vorarbeiten. In SIA 382/5:2021 [1] geht es um die mechanische Lüftung von Wohngebäuden. Eine neu zu erstellende Norm zur hybriden Lüftung würde in die Gruppe Raumluftechnik voraussichtlich unter den Nummern SIA 382/3 «Natürliche und hybride Lüftung in Gebäuden – Grundlagen und Anforderungen» und SIA 382/4 «Natürliche und hybride Lüftung in Gebäuden – Leistungs- und Energiebedarf» eingeordnet werden.

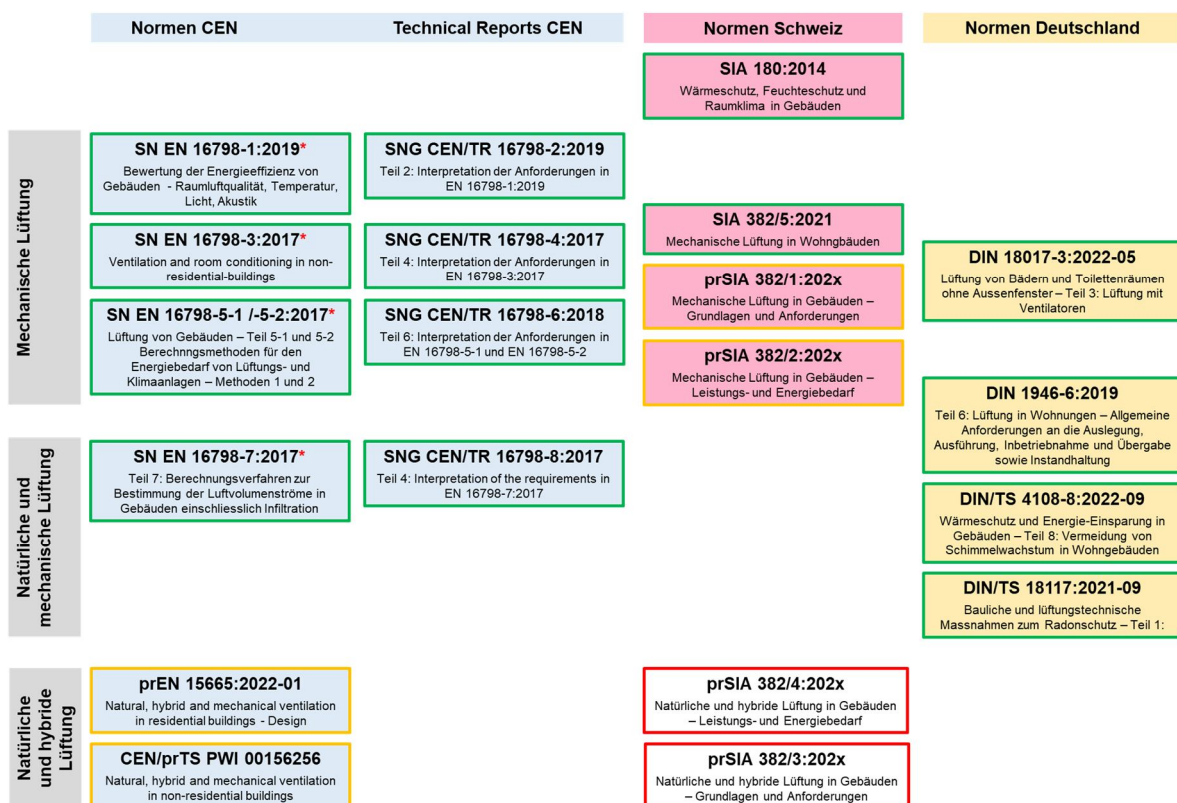


Abbildung 2: Normatives Umfeld für eine Norm zur hybriden Lüftung in der Schweiz. Farbcode Flächen: blau = CEN, rosa = Schweiz, hellgelb = Deutschland. Farbcode Rahmen: grün = Norm in Kraft, gelb = Normenprojekt, rot = mögliches (geplantes) Normenprojekt. Roter Stern: Nationale Anhänge sind in Erarbeitung. Die Sortierung in ML, «NL und ML» und «NL und HL» eher qualitativ, da die Normeninhalte nicht immer ganz scharf abgegrenzt sind.
Quelle: Systematik und Inhalt: Beat Frei (Präsentation anlässlich Treffen Spurgruppe SIA 382/3 (22.06.2022) mit Anpassungen der Berichtsverfassenden.



1.3.3 Planungsthemen im Zusammenhang mit hybrider Lüftung

In Tabelle 1 sind die wesentlichen Planungsthemen und möglichen Fehlerquellen aufgelistet, die im Kontext von hybriden Lüftungskonzepten auftreten. Die Planungsthemen sind entsprechend der Kapitel von SIA 382/5:2021 [1] gegliedert. Da die Themen oftmals in Projekten identifizierte Problemstellungen widerspiegeln, drängt sich die Frage nach den Ursachen, bzw. den Abweichungen hybrider Lüftungssysteme zu rein mechanischen oder natürlichen Lüftungskonzepten auf. Nachfolgend ist eine Auflistung der identifizierten Ursachen gegeben. Den Planungsthemen in Tabelle 1 sind diese Ursachen in der vierten Spalte zugeordnet. Mehrfachnennungen sind möglich. Kann keine Ursache explizit zugeordnet werden, dann ist die Fragestellung nicht zwingend spezifisch für hybride Lüftungssysteme (HLS).

Identifizierte Ursachen für Problemstellungen nach Häufigkeit:

1. Unterschiedliche (strenge) Anforderungen an natürliche Lüftung (NL) und mechanische Lüftung (ML), z. B. auch bei Auslegung von Komponenten wie ALD, Fensterlüfter und Filter.
Die Fragestellung, wie HLS zukünftig bewertet werden sollen, muss dringend geklärt werden. Gelten immer die Anforderungen für das System, welches gerade in Betrieb ist? Gelten die Anforderungen für das Basissystem, welches häufiger in Betrieb ist? Gelten Mittelwerte, oder generell weniger strenge Anforderungen für HLS?
Zugeordnete Planungsthemen: 9
2. Exponiertheit HLS gegenüber Aussenbedingungen.
Durch den Anteil an NL und eventuell vorhandene Aussenbauteil-Luftdurchlässe sind HLS unmittelbarer an die äussere Umgebung, das Klima, die Luftbelastung und den Lärm angebunden. Daraus resultieren z. B. Fragestellungen der thermischen Behaglichkeit in Sommer und Winter und des Schallschutzes.
Zugeordnete Planungsthemen: 7
3. Einfluss Nutzerverhalten.
Dass NL planungsgemäss funktionieren, hängt häufig vom korrekten Nutzerverhalten ab.
Zugeordnete Planungsthemen: 5
4. Zusammenspiel unterschiedlicher Gewerke mit Schnittstellen zur hybriden Lüftung.
Hier ist eine Klärung der Zuständigkeiten erforderlich. Fehlerquellen entstehen durch fehlende Kommunikation und Widersprüche (z: B. Widerspruch Sonnenschutz und Lüftungsöffnungen).
Zugeordnete Planungsthemen: 3
5. Zukünftige Berücksichtigung HLS in Energienachweisen.
Derzeit sind HLS nicht standardmässig vorgesehen, was zu einer ungünstigen Bewertung in Energienachweisen führen kann.
Zugeordnete Planungsthemen: 3
6. Hohe Bedeutung von Wartung und Unterhalt (z. B. Filterwechsel).
Zugeordnete Planungsthemen: 2

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass die Fragestellung der unterschiedlichen Anforderungen an NL und ML und welche Bewertung für HLS daraus resultiert, die häufigste Ursache von Problemstellungen darstellt. Nachgeordnet als Ursachen zu nennen sind der grosse Einfluss der Exponiertheit gegenüber den Aussenbedingungen und der Einfluss des Nutzerverhaltens.



Tabelle 1: Planungsthemen im Zusammenhang mit hybrider Lüftung. Die Nummer in Spalte vier (#) nimmt Bezug auf obige Liste «Identifizierten Ursachen für Problemstellungen» in diesem Kap. 1.3.2. Verwendete Abkürzungen: HLS = Hybrides Lüftungssystem, NL = natürliche Lüftung, ML = mechanische Lüftung

Kapitel gem. SIA 382/5	Planungsthema	Beispiel für Fehlerquelle	Ursache Nr.
2 Projektierung – Anforderungen	Planungsablauf und Planungsverantwortung	Bei der Planung von hybriden Lüftungssystemen sind viele Gewerke involviert und es gibt (undefinierte) Schnittstellen zwischen den einzelnen Fachplanenden. Auch spätere Betreibende (Nutzerinnen und Nutzer) sind einzubinden.	4
	Anforderungen an HLS	Generell gelten für ML und NL unterschiedliche Anforderungen. Was ist für HLS massgeblich? <i>Hintergrund: Wichtig sind Anforderungen aus dem Gebäudestandort (Lärm, Wind), an die Behaglichkeit (v.A. RLQ, Zugluft) sowie das Ausmass der notwendigen Nutzereingriffe.</i>	1
	Bauliche Anforderungen	Luftdichtheit der Gebäudehülle <i>Hintergrund: Bemessungsvorgaben sind abhängig von der für die Funktion des HLS notwendigen Druckdifferenz (v.A. Unterdruck). Sie sollten sich an die Bemessungsvorgaben aus SIA 382/5:2021 [1] Kapitel 5.4.2. anlehnen.</i>	
	Anforderung an Raumluftqualität	welche Anforderungen gelten? CO ₂ : Mittelwerte, Grenzwerte, Überschreitungswerte? <i>Hintergrund: In EN EN 16798-1:2019 werden bestimmte Klassen für das Innenraumklima (IEQ) und für die Raumluftqualität angegeben. In beiden Fällen ist die Klasse II als «mittel», die Klasse III als «moderat» eingeordnet.</i>	1,2,3
	Feuchteschutz	Schimmel <i>Hintergrund: Die Anforderung an den minimalen Luftvolumenstrom zum Feuchteschutz muss sich an den Vorgaben aus SIA 180:2014 [3] richten. Hinweise für Auslegungskriterien der nutzerunabhängigen Lüftung zum Feuchteschutz gibt auch DIN 1946-6:2019 [18].</i>	
	Anforderungen thermische Behaglichkeit	Thermische Behaglichkeit (Zugluft, Überhitzung Sommer), Grenzen aufgrund der thermischen Behaglichkeit (trockene Luft, Schwüle) <i>Hintergrund: Die Aufenthaltszone nach SIA 180:2014 [3] Kapitel 2.1.2.4 ist konkret festzulegen (Fenster min. 1 m; ALD 0.5 m als Default). Auch die Anforderungen an die Zuglufrate ist festzulegen, da unterschiedliche Anforderungen für ML und NL.</i>	1, 2



Kapitel gem. SIA 382/5	Planungsthema	Beispiel für Fehlerquelle	Ursache Nr.
	Anforderungen akustische Behaglichkeit	Nachströmöffnungen und Überströmluftdurchlässe gegen aussen / innen, Lüftungsanlage <i>Hintergrund: Die Anforderungen an das Schalldämm-Mass ergeben sich aufgrund der Lärmbelastung, Lärmempfindlichkeit und Anforderungsstufe sowie den erforderlichen Querschnitten. Die Erfüllung ist mit dem Schallschutznachweis nach SIA 181:2020 [21] nachzuweisen.</i>	2
	Energiebedarf	Wärmerückgewinnung / Abwärmenutzung (wie berücksichtigen), Einfluss Nutzerverhalten <i>Hintergrund: Für die Beurteilung der Anforderungen ist eine Bewertung zusammen mit dem Heizsystem und dem Aufwand für die Luftförderung vorzunehmen. Als Basis dafür kann z. B. das Berechnungsformular EN-101b aus MuKE:2014 [22] dienen.</i>	3, 5
	Brandschutz	Brandschutz <i>Hintergrund: Insbesondere Überströmung in Korridorbereichen und Vorgaben bei Brandriegeln sind bei HL frühzeitig mit den Behörden zu klären.</i>	
3 Projektierung – Auslegungskriterien	Aussenbedingungen	Aussenklima, Aussenluftbelastung, Lärmbelastung	1, 2
	Nutzende	Nutzungsdaten, Nutzerverhalten	3
4 Projektierung – Lüftungskonzept	Vorgehen	ALD trotz Lärm- und Schadstoffbelastung der Aussenluft eingesetzt) Ungenügende Berücksichtigung der Abhängigkeit vom Aussenklima, Wind- und Nutzereinfluss Fehlende Berücksichtigung von Einflüssen auf den Luftaustausch bei rein durch natürliche Strömungen geplanten Überströmung bei Verbundlüftungen.	4
	Lüftungskonzept aus ML und NL = HLS	Unterschiedliche Anforderungen ML und NL	1
	Luftführung in den Wohneinheiten	Kaskadenlüftung, Verbundlüftung, Kochstellenlüftung, Schwerkraftlüftung (Stack-Effekt), Druckverhältnisse	(2)
5 Berechnung, Bemessung und	Luftvolumenströme	Zuluft- und Abluft-Volumenströme, Dimensionierung mit Anteil NL?	1, 2



Kapitel gem. SIA 382/5	Planungsthema	Beispiel für Fehlerquelle	Ursache Nr.
technische Anforderungen	Lüftungskomponenten	ALD, Fensterlüfter und Überströmöffnungen, (Dimensionierung), Nachtlüftung (Zu- und Abluftöffnungen), Filter, Steuerung und Regelung <i>Hintergrund: Ansätze für die Dimensionierung der erforderlichen Querschnitte und einzuhaltenden Druckverluste sind in SIA 180:2014 [3], SIA 382/1:2014 [2] und SIA 382/5:2021 [1] verfügbar. Berechnungsverfahren werden in SN EN 15665:2009 [8], SN EN 13465:2004 [4] SN EN 15242:2007 [6] beschrieben.</i>	1, 2, 4, 6
	Energetische Anforderungen und Luftdichtheit	Anforderungen an Einzelkomponenten: z. B. Leistungskenngrößen für WRG, AWN und Luftförderung. Interne und externe Leckagen. Infiltration. Zukünftige Berücksichtigung HLS in Energienachweisen <i>Hintergrund: Derzeit werden in der Normung hybride Lüftungssysteme nur unzureichend abgebildet. Beispielsweise sind sie bei den Standardlösungen nach MuKen:2014 nicht vorgesehen, sodass sich bei der Bewertung und beim Nachweis Nachteile ergeben.</i>	1, 5
6 Prüfungen	Grundsätze der Übergabe, Funktionsmessungen	Funktionskontrolle, Messungen, Instruktion, Welche Prüfungen für Betrieb NL?	1, 3 2
7 Betrieb und Instandhaltung	Allgemeines	Bedienung, Wartung und Inspektion der Anlage	3, 6
	Monitoring	Energieverbrauch oder Parameter zur Raumluftqualität <i>Hintergrund: Für die Beurteilung der RLQ bei variablen Lüfraten und die Behandlung von Grenzwertüberschreitungen sind in prEN 15665:2022-09-30 [11] verschiedene Methoden und Kennwerte erläutert.</i>	5



1.3.4 Zusammenfassung offene Forschungsfragen

Für viele Planungsthemen und Problemstellungen, die im Projektrahmen identifiziert werden, können allgemeine oder normative Lösungsansätze genannt werden. Zur Veranschaulichung kann das Thema «thermische Behaglichkeit im Sommer und Klimawandel» dienen, bei dem als Problemstellung auftritt, dass mit natürlicher Lüftung nicht immer ein ausreichender thermischer Komfort gewährleistet werden kann. Als zukünftiger normativer Ansatz könnten die maximal zulässigen Raumtemperaturen diskutiert werden. Als technischer Ansatz könnten die Art und die Grösse der Öffnungen je nach Lüftungsaufgabe differenziert werden (1x Nachtlüftung, 1x hygienischer Luftwechsel).

Einige Problemstellungen sind jedoch offene Forschungsfragen, auf die im Rahmen dieses Projektes keine abschliessende Antwort gegeben werden kann. Zur Klärung sind ggf. noch Hintergrundinformationen, Abklärungen oder die Validierung bestehender (Berechnungs-) Ansätze notwendig. Diese offenen Fragestellungen werden hinsichtlich ihrer Relevanz für die Erstellung einer SIA Norm sortiert. Die wichtigsten offenen Fragen sind in Tabelle 2 genannt.

Danach ist für den Themenbereich «Raumluftqualität», sowie «thermische Behaglichkeit Sommer / Winter» festzulegen, welche Anforderungen bei hybriden Lüftungssystemen (und damit auch bei natürlichen Lüftungssystemen) gestellt werden und wie diese überprüft werden können (Kurzzeit- oder Langzeitmessungen?). Weiter müsste überlegt werden, ob die Berücksichtigung des Stack-Effektes und des Windes (Windklassierung und Gebäudeexposition) bei hybriden Lüftungssystemen zukünftig detaillierter erfolgen sollte (z. B. mittels eines einfachen Planungsmittels). Für die Dimensionierung der NL müssten die existierenden normativen Berechnungsvorgaben auf Praxistauglichkeit überprüft werden und es müsste geklärt werden, wie mit den Unsicherheiten durch Klimaeinflüsse und Nutzereingriffe umzugehen ist.

Beim Energienachweis ist offen, wie HLS dort berücksichtigt werden können. Für die Abnahme von HLS sollte ein Konzept für die Bewertung der Lüftungssysteme erarbeitet werden. Ob eine Langzeitbewertung mit Angaben für zulässige Abweichungen geeignet ist, muss überprüft werden.

Tabelle 2: Wichtige Forschungsfragen, die möglichst vor oder zu Beginn der Erstellung einer SIA Norm geklärt werden sollten.

Kapitel gem. SIA 382/5	Forschungsfragen
2 Projektierung – Anforderungen	Anforderungen an Raumluftqualität (RLQ): Für normative Beurteilung RLQ: Fokus auf welche Methoden resp. Parameter (Momentanwerte, Mittelwerte (rollend, über welche Perioden?)); Grenzwertüberschreitungen. Gelten die Anforderungen für ML oder NL? Entsprechende Umsetzung, Erfahrungen in der Praxis? Prüfung der bestehenden normativen Ansätze auf Praxistauglichkeit. Anforderungen thermische Behaglichkeit Sommer / Winter: Welche Anforderungen gelten für hybride Lüftungssysteme? Wie ist der Klimawandel zu berücksichtigen?
3 Projektierung – Auslegungskriterien	Wind bei natürlicher Lüftung: Was muss bezüglich der Windklassierung und der Gebäudeexposition bezogen auf hybride Lüftungssysteme geklärt werden? Ist eine differenzierte Betrachtungsweise (z. B. zeitliche Auflösung) als derzeit üblich notwendig?
4 Projektierung – Lüftungskonzept	Lüftungskonzept hybride Lüftung: Welche Luftmengen kann in den einzelnen Konzepten der natürlichen Lüftung «angerechnet» werden? Hierfür sind die Praxistauglichkeit und Eignung der bestehenden resp. vorgeschlagenen normativen Verfahren zu überprüfen. Welche zwingenden Anforderungen werden an die Luftqualität im Raum gestellt? Wie wird mit den Unsicherheiten durch Benutzer- und Klimaeinflüssen umgegangen?



Kapitel gem. SIA 382/5	Forschungsfragen
5 Berechnung, Bemessung und technische Anforderungen	Energienachweis für HLS (SIA 380/1:2016 [23]): Wie lassen sich die stark projektspezifischen Konzepte hybrider Lüftungsanlagen auf eine stark vereinfachte Kategorisierung reduzieren, um mit einfachen Mitteln einen plausiblen Korrekturfaktor für die Lüftungseffektivität hybrider Lüftungssysteme f_v zu bestimmen? Wie kann die geforderte fachgerechten Energiebedarfsberechnung vereinfacht und für übliche Fälle standardisiert werden?
	Zuluft- und Abluftvolumenströme: Zu erwartende wirksame Luftraten bei natürlicher Lüftung? Wie bestimmen? Was kann angenommen / festgelegt werden für die Planung? Hierzu sind die Praxistauglichkeit und Eignung der bestehenden normativen Verfahren und Verfahren aus der Literatur (z. B. [24] zu überprüfen.
6 Prüfungen	Konzepte für Abnahme von hybriden Lüftungssystemen. Kurzzeitmessungen (z. B. Windverhältnisse?), Langzeitmessungen (z. B. analog zu SNG CEN/TR 16798-2:2019, Anhang D [25])?
	Raumluftqualität (und Feuchteschutz): Wie können die gestellten Anforderungen an die RLQ überprüft werden? Einzelwertbetrachtung versus Performance? Welches sind die wesentlichen Funktionsmessungen, die für die dargestellten System durchzuführen sind? Ist eine messtechnische Erfassung und eine Bewertung z. B. gemäss SNG CEN/TR 16798-2:2019, Anhang E [25] praktikabel?

1.3.5 Zusammenfassung Vorschläge normativer Lösungsansätze

Im Projekt werden auch Vorschläge für normative Lösungsansätze erarbeitet. Die Bearbeitungsebene ist dabei die Eingrenzung, bei welchem Thema in der Normung welche Grösse festzulegen ist. Es werden keine Textvorschläge für die zukünftige Normung erstellt.

Aus Tabelle 3 geht hervor, dass die meisten Vorschläge im Themenbereich der Anforderungen und bei Berechnung und Bemessung gemacht werden. Als wichtiger Punkt hervorzuheben ist, dass bei HLS den Nutzenden eine wesentliche Rolle zukommt. Dies liegt daran, dass diese Systeme eben nicht ausschliesslich automatisch gesteuert und geregelt werden können, sondern meist auch eine manuelle Bedienung durch die Nutzenden erfordern. Es wird daher vorgeschlagen, in der zukünftigen SIA Norm auf die Bedeutung einer Nutzungsvereinbarung hinzuweisen und Punkte zu nennen, die in einer Nutzervereinbarung projektspezifisch zu klären sind (analog zu SIA 382/5:2021 [1]). In dieselbe Richtung geht auch der Vorschlag eine (Muster-)Gebrauchsanweisung für Wohnungen zu erstellen (nicht normativ). Für beide Dokumente müssten die für die HLS relevanten Themen noch erarbeitet werden.

Für die Priorisierung werden zwei Kategorien festgelegt.

In der ersten Gruppe (in Tabelle 3 in der letzten Spalte mit einer «1» gekennzeichnet), können die Lösungsansätze innerhalb der zukünftigen für die Norm zur hybriden Lüftung zuständigen Normenkommission geklärt werden.

In der zweiten Gruppe (in Tabelle 3 mit einer «2» gekennzeichnet) sind Lösungsansätze genannt, die in Abhängigkeit zu bereits existierenden Normen stehen und die daher Abstimmung erfordern.

Abstimmung bedarf es bei den Themen «Anforderungen an die Raumluftqualität» (z. B. SIA 382/1:2014 [2]) und den «Energiebedarf» (z. B. SIA 380/1:2016 [23]). Die normative Festlegung einer unteren und oberen Grenze für die Raumluftfeuchte ist derzeit in der Abklärung. Bei den Zu- und Abluftvolumenströmen für die natürliche Lüftung und die Nachtlüftung müssen vorhandene normative Berechnungsansätze (z. B. SIA 180:2014 [3], SN EN 16798-7:2017 [12]) auf ihre Praxistauglichkeit hin überprüft werden. Speziell bei den Punkten «thermische Behaglichkeit im Sommer» und «Umgang mit steigenden Temperaturen durch den Klimawandel (Komfortgrenzen)» ist z. B. bei der Revision von



SIA 180:2014 zu diskutieren, ob bei der Definition zukünftiger Komfortgrenzen Aspekte der Gesundheit oder der Energieeffizienz verstärkt zu berücksichtigen sind.

Tabelle 3: Übersicht über die Themen, bei denen normative Lösungsansätze vorgeschlagen werden. Festlegungen, die innerhalb der für die hybride Lüftung zuständigen Normenkommission zu treffen sind, sind in Spalte «#» mit einer 1 versehen, Festlegungen, die eine Abstimmung mit bereits existierenden Normen erfordern, mit einer 2.

Kapitel gem. SIA 382/5	Themen bei denen normative Lösungsansätze vorgeschlagen werden	#
2 Anforderungen	Luftdichtheit der Gebäudehülle und deren Auswirkung auf die Lüftung	1
	Anforderungen an Raumluftqualität	2
	Energetische Anforderungen	2
	Thermische Behaglichkeit Winter (inkl. untere und obere Grenze für Raumluftfeuchte)	1
	Thermische Behaglichkeit Sommer (inkl. untere und obere Grenze für Raumluftfeuchte)	2
	Umgang mit Klimawandel	2
	Feuchteschutz	2
	Schallschutz Nachströmöffnungen gegen aussen und Überströmöffnungen	1
3 Projektierung – Auslegungskriterien	Nutzungsdaten (Gebrauchsanweisung) / Hinweis auf Bedeutung Nutzervereinbarung	1
4 Projektierung – Lüftungskonzept	Lüftungskonzept hybride Lüftung	1
	Verbundlüftung (Dimensionierung passive Überströmer bei HLS)	1
	Kochstellenlüftung (Umluft-Dunstabzugs- und Ablufthauben bei HLS)	1
	Angabe in Plänen und Projektdokumentation	1
5 Berechnung, Bemessung und technische Anforderungen	Zu- und Abluftvolumenströme ML und NL	2
	Nachtlüftung	2
	Energetische Anforderungen (Vermeidung Strafe Energienachweis für HLS)	2
	Filter	1
	Regelkonzepte	1, 2
6 Prüfungen	Vollständigkeits- und Funktionskontrolle HLS	1
7 Betrieb und Instandhaltung	Monitoring	1
	Filter und Unterhalt (Vorgaben an Filter nur für ML definiert)	1

1.3.6 Zusammenfassung resultierende Planungshinweise

Für einige der im Rahmen des Projektes zusammengetragenen Planungsthemen, Problemstellungen und Fehlerquellen existieren bereits Lösungen. Resultierenden Planungshinweise werden im Projekt zusammengestellt. In diese Planungshinweise fliessen Projekterfahrungen aus Literatur und der Beteiligten, sowie die Erfahrungen aus den Workshops mit den Expertinnen und Experten mit ein. Nachfolgend werden einige zentrale Hinweise herausgegriffen und zusammengefasst.



Projektierung

- Aus dem Expert:innen Workshop resultiert der Hinweis bei grösseren Projekten (zukünftig) eine planungsverantwortliche Person Lüftung zu mandatieren, die alle Aspekte der hybriden Lüftung fachübergreifend im Blick behalten kann.
- Eine rein manuelle Fensterlüftung für Schlafzimmer ist ungeeignet, da bei natürlicher Lüftung die maximalen CO₂-Konzentrationen nur eingehalten werden können, wenn ein Fenster gekippt ist. Dagegen spricht der hohe Heizwärmeverlust.
- In Verbindung mit Nachströmöffnungen in Form von Fensterlüftern (FL) und /oder Aussenbauteil-Luftdurchlässen (ALD) sind Zugerscheinungen ein häufiges Thema. Bestimmte Massnahmen (Anordnung, Öffnungsquerschnitt) können diese verringern. Speziell bei Hochhäusern und an lärmbelasteten Standorten ist vom Einsatz jedoch abzuraten.

Auslegungskriterien

- Schon jetzt ist die Wirksamkeit von Nachtlüftung als Massnahme der passiven Kühlung aufgrund des Klimawandels und des Urban Heat Island Effektes teilweise reduziert. Zur Beurteilung der Wirksamkeit von Massnahmen und zur Planung ist die Verwendung zukünftiger Klimadaten (MeteoSchweiz) empfohlen.
- Ist für das Funktionieren des Systems ein bestimmtes Nutzerverhalten erforderlich, ist die Verwendung von Nutzungshinweisen und / oder einer Nutzervereinbarung zu empfehlen.

Lüftungskonzept

- Um eine Kontinuität von Informationen zu ermöglichen und zu vermeiden, dass bestimmte Lüftungskomponenten fehlen oder die falschen eingebaut werden, sollten die Angaben zur Lüftung und zu Komponenten (z. B. Zuluftelemente wie FL etc.) in die Architektenpläne eingezeichnet werden. In der Submission müssen die Elemente dem entsprechenden Gewerk zugeteilt werden.
- Bei Verbundlüftungen ist zunächst zu unterscheiden, ob der Luftaustausch in die Zimmer über aktive Verbundlüfter oder nur über passive Überströmelemente erfolgt. Bei passiven Überströmern, muss der Luftaustausch allein durch natürliche Strömungen stattfinden. Insbesondere bei geschlossenen Zimmertüren funktioniert dies nicht. Überströmelemente müssen geeignet dimensioniert sein (Problem: ausreichend freier Querschnitt, störender Lichteinfall, Schallschutz). In der Praxis (Workshop-Input) werden mit Verbundlüftungssystemen mit aktiven Überströmern in Wohnungen sehr gute Erfahrungen gemacht.
- Bei Hybridlüftungskonzepten können erhöhte Druckdifferenzen durch Wind (ev. auch durch thermischen Antrieb bei hohen Gebäuden) auftreten. Im Konzept muss diese Frage behandelt werden (v.a. für windexponierte Lagen und hohe Gebäude) und es müssen dazu Lösungen aufgezeigt werden. Ohne Begrenzungselemente kann bei Komponenten, wie z. B. ALD, bei hohen Gebäuden ein unerwünscht hoher Luftvolumenstrom auftreten.

Berechnung, Bemessung und technische Anforderungen

- Im Rahmen der Erstellung des Lüftungskonzeptes müssen die wesentlichen Betriebsfälle bezüglich dem Luftaustausch innerhalb der Wohnung geklärt werden. Es können auch einzelnen Komponenten bestimmte Lüftungsaufgaben zugewiesen werden (z. B. FL = Feuchteschutzluftwechsel).
- Für den gemäss Norm geforderten hygienische Volumenstrom sind bei natürlicher Lüftung ohne vorgängige Prüfung tendenziell die realen Luftraten eher tiefer als geplant.
- Auch bei ALD stellen sich oftmals tiefere Luftraten ein, als erwartet. Dies gilt selbst dann, wenn diese im Zusammenhang mit einfachen Abluftanlagen betrieben werden. Jeder Aufenthaltsraum



(mit Ausnahme von Durchströmbereichen) muss eine Aussenluftzufuhr enthalten, für den hygienischen Luftwechsel sind pro Raum oftmals zwei ALD erforderlich.

- Ein häufiger Ausführungsfehler sind zu geringe freie Überströmquerschnitte zwischen Zu- und Ablufträumen. Speziell bei Badtüren werden die höheren Anforderungen oft nicht erfüllt. Das Fehlen von Überströmöffnungen gegen innen kann zum Aussetzen der Funktion von Lüftungstechnischen Massnahmen führen.
- Da die geforderten Luftmengen für einerseits die Raumluftqualität und andererseits die passive Kühlung durch Nachtlüftung sehr unterschiedlich sind, ist eine Nachtlüftung ausschliesslich über die für den Erhalt der Raumluftqualität vorgesehenen Öffnungen nicht ausreichend. Abhilfe würden spezielle Öffnungen schaffen.
- Die Verwendung von Filtern in ALD ist sinnvoll. Werden Filter eingesetzt ist jedoch immer eine mechanische Unterstützung notwendig, da für eine rein natürliche Lüftung der Druckabfall von Filtern in Aussenbauteil-Luftdurchlässen zu hoch ist.
- Bei der Steuerung und Regelung ist bei Konzepten mit automatischen Lüftungsöffnungen die Schnittstelle zwischen den verschiedenen involvierten Gewerken (Architektur, Fassade, Elektro / MSRL und HLK) für die Funktion der Regelung kritisch. Zum Beispiel muss im Regelkonzept die Schnittstelle und Abhängigkeit zwischen Sonnenschutz und Lüftungsfunktionen klar festgelegt werden.

Prüfungen

- Funktionsmessungen am Gesamtsystem (ML und NL) zur Abnahme der Anlage müssen mit allen beteiligten Gewerken (vergleichbar mit integralen Tests) erfolgen. Für den Teil der NL ist aufgrund der Abhängigkeit von Aussenbedingungen keine «Funktionskontrolle» im herkömmlichen Sinne möglich. Dies bedarf einer entsprechend frühzeitige Planung der erforderlichen Messungen und Kriterien sowie der Benennung einer dafür verantwortlichen Person.

Betrieb und Instandhaltung

- In der Anlagendokumentation ist eine Instruktion zum Betrieb und zur Instandhaltung der Anlage erforderlich. Dies schliesst das empfohlene Wartungsintervall der vorhandene Filter mit ein, aber auch Hinweise zum Reinigung von Aussenluftgittern, Insektenschutzgitter und Luftdurchlässe. Eine gut verständliche Dokumentation ermöglicht den Nutzenden eine korrekte Bedienung und senkt damit den Energieverbrauch des Gebäudes.
- Nicht nur, aber speziell bei komplexen Gebäuden helfen Gebäudemonitorings einen Betrieb mit erheblichen, energierelevanten Mängeln zu vermeiden. Es können auch Fehler in der Ausführung und im Betrieb der Anlagen aufgedeckt werden. Ist ein Monitoring (Messdatenerfassung und Betriebsoptimierung) geplant, dann sollten alle relevanten Planenden (z. B. Haustechnikplaner:in) von Beginn an eingebunden werden. Die Messtechnik, der Einbauplatz dafür sowie die spätere Messdatenauswertung sollten schon in der Projektierung und Ausschreibung berücksichtigt werden.

1.3.7 Ist hybride Lüftung ein guter Kompromiss?

Hybride Lüftungen weisen in zwei Bereichen ein energetisches Einsparpotential auf: 1. Im Vergleich zu einer unkontrollierten Lüftung über gekippte Fenster können Lüftungswärmeverluste reduziert werden. 2. Ist es möglich die Luftleitungen gegenüber eine mechanischen Lüftung wesentlich zu reduzieren, so verringern sich die graue Energie bzw. die Treibhausgasemissionen aus der Erstellung.

Das Projekt zeigt, dass mit hybriden Lüftungen bei Wohn- und Bürobauten spezifische Lüftungsaufgaben abgedeckt werden. Allerdings können hybride Lüftungen nur dann eingesetzt werden, wenn kein kontinuierlicher, garantierter Qualitätsstandard für die Raumluftqualität erforderlich ist, wie das z. B. in Gebäuden für vulnerable Personen der Fall sein könnte. Durch den Anteil an natürlicher Lüftung sind die Gebäude mit ihrer Nutzung gegenüber den Aussenbedingungen



exponierter, als Gebäude mit einer Zu- und Abluftanlage. Um daraus resultierende Einschränkungen, sei es bei der thermischen Behaglichkeit, sei es beim Lärm, zu vermeiden und eine korrekte Auslegung zu ermöglichen, bedarf es einer sorgfältigen Planung und Ausführung. Bei hybriden Lüftungen ist der mechanische Anteil über vorhandene Normen gut abgedeckt, der natürliche Anteil der Lüftung hingegen nicht. Daher empfiehlt es sich, bestimmte Punkte (wie z. B. die Nutzung der Räume, Nutzereingriffe, Anforderungen an die Behaglichkeit) in einer Nutzungsvereinbarung festzuhalten. Das Zusammenspiel aus natürlicher und mechanischer Lüftung erfordert eine gewerkeübergreifende, integrale Planung. Hybride Lüftungssysteme können einfach bis hochkomplex ausgestaltet sein, was sich auch in der Regelung und Steuerung zeigt. Speziell bei einer komplexen Gebäudetechnik ist – nicht nur für die Lüftung - ein Gebäudemonitoring mit einer Betriebsoptimierung nützlich.

Die Ausführungen zeigen, dass hybride Lüftungen dem Wunsch nach einem sparsamen Technikeinsatz entgegenkommen. Mit einer guten Planung können im Idealfall die Vorteile einer mechanischen Lüftung (z. B. konstante Raumluftqualität, garantierte Feuchteschutzlüftung, Wärmerückgewinnung) mit denen einer natürlichen Lüftung (z. B. Nutzereinfluss, Nachtlüftung, reduzierter Technikaufwand) kombiniert werden. Garantierte und konstante Anforderungen an die Luftqualität und an den thermischen Komfort sind durch den Anteil der natürlichen Lüftung allerdings nicht erfüllbar. Dies ist aber auch bei einer reinen Fensterlüftung nicht der Fall.

1.4 Ausblick

Die dargestellten Überlegungen mit den vielen zu klärenden und zu berücksichtigenden Themen unterstreichen den Bedarf für eine SIA Norm zur Unterstützung einer qualifizierten Auslegung und Ausführung von hybriden Lüftungssystemen. Das im Rahmen des Projektes zusammengetragene aktuelle Wissen zu hybriden Lüftungen, sowie die aufgezeigten Lücken legen die Basis für eine solche Norm zur hybriden Lüftung.

Der Bedarf wurde seitens des SIA erkannt. Daher wurde noch während der Projektlaufzeit im Jahr 2022 eine Spurgruppe zur SIA 382/3 ins Leben gerufen. Seit 2023 existiert eine Arbeitsgruppe SIA 382/3 (unter der Kommission SIA 382, Raumlufttechnik), die als Ziel die Erarbeitung der Norm «Natürliche und hybride Lüftung in Gebäuden – Grundlagen und Anforderungen» hat. Da die künftige SIA Norm grosse Schnittmengen zur SIA 382/1:2014 (in Revision), SIA 382/5:2021 und SIA 180:2014 (Revision geplant) aufweist, sind hier durch ein geeignetes Abstimmungsformat Widersprüche zu vermeiden. Eine Koordination mit der europäischen Normung im Bereich Wohnungslüftung ist anzustreben.

Sollte ergänzend zur Norm noch Bedarf nach erläuternden Planungshandbüchern und -richtlinien bestehen, so können diese nach Fertigstellung der Norm erstellt werden.



2 Einleitung

2.1 Ausgangslage und Hintergrund

Bei der Lüftung von Wohn- und Bürogebäuden besteht heute eine grosse Lücke zwischen den normativ gut geregelten rein mechanischen Systemen und den undefinierten hybriden Systemen. Hybride Lüftungen verstehen sich als eine Kombination aus natürlicher und mechanischer Lüftung (Abbildung 3).

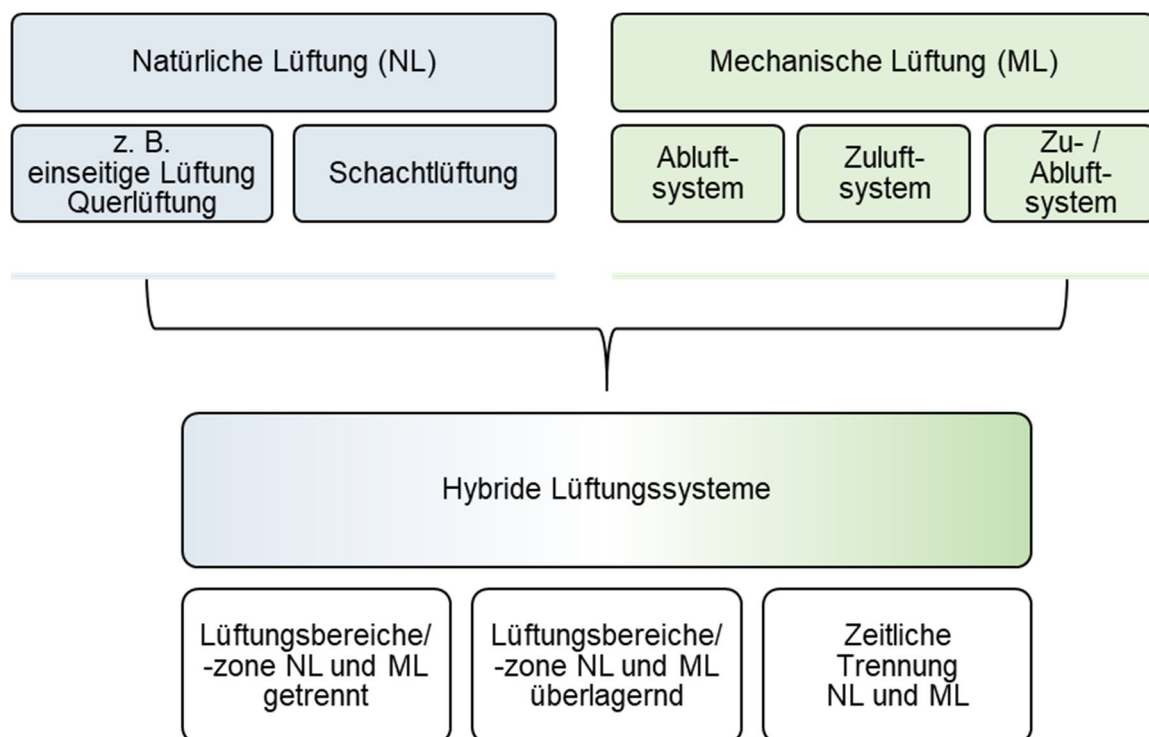


Abbildung 3: Übersicht Lüftungsarten und mögliche Kombinationen (nicht abschliessende Aufstellung)

In der Praxis sind die hybriden Lüftungen weiterverbreitet als die rein mechanischen und vermutlich auch häufiger als rein natürliche Lüftungen. So stellt z. B. die Kombination von Abluftventilatoren in den Nassräumen und der Fensterlüftung in den Zimmern ein hybrides System dar, unabhängig davon, wie die Nachströmung der Ersatzluft gelöst ist. Weitere mögliche Varianten sind eine natürliche / mechanische Basislüftung mit einer additiv verstärkten Lüftung, oder eine Schachtlüftung mit Ventilatorunterstützung. Der Begriff der hybriden Lüftung ist bislang nicht scharf definiert. Abbildung 4 zeigt Lüftungsprinzipien und Zuluftkomponenten.



Lüftungsmethoden	Lüftungskomponenten	Fenster (manueller Betrieb)	Fenster (automatisch)	Aussenluftdurchlasselemente (permanente Öffnung)	Aussenluftdurchlasselemente (Öffnung variabel)	Passive Fensterlüfter	Aktive Fensterlüfter mit Ventilator
Wechsel natürliche und mechanische Lüftung (saisonal, Nachtlüftung)		W	B				
Natürliche Lüftung mit mechanischer Unterstützung		W		W	W	W	B
Mechanische Lüftung mit Nutzung natürlicher Antriebskräfte			B	W	W		
Mechanische Lüftung mit Abwärmenutzung				W	W	W	

Abbildung 4: Lüftungsmethoden und Lüftungskomponenten von hybriden Lüftungssystemen. Methoden und Komponenten können miteinander kombiniert werden. Vereinfachend ist die mechanische Lüftung nicht weiter in mechanische Zu- und Abluftanlage, Abluftanlage und Zuluftanlage unterteilt. Die Buchstaben in den Feldern geben an (W = Wohnen, B = Büro), wo die Systeme tendenziell häufiger eingesetzt werden. Die Tabelle ist nicht vollständig und ist als Einstieg gedacht.

Vorteile von hybriden Lüftungen sind die niedrigen Investitionskosten, eine - je nach Betriebsweise nutzerunabhängige – Minimallüftung und Platzersparnis durch weniger Lüftungskanäle. Auch bieten diese Systeme einen Kompromiss zwischen dem Wunsch nach einer genügenden Raumlufthygiene und möglichen Vorbehalten gegenüber von Zu- und Abluftanlagen. Die Nachteile sind oftmals die fehlende Wärmerückgewinnung (oder Abwärmenutzung), eventuell Komfortprobleme (Zugerscheinungen, Schallschutz gegenüber Aussenlärm), die Abhängigkeit von den Druckverhältnissen an der Gebäudehülle und auch in den einzelnen Zimmern (offene Fenster und Türen). Besonders der geringe Platzbedarf prädestiniert diese Systeme für die Gebäudesanierung.

Bei verdichteter Bauweise wird der Anteil an fensterlosen Nassräumen weiter zunehmen. Mit dem Trend zu Ein- und Zweipersonen-Haushalten nehmen auch Kleinwohnungen zu. Diese weisen oft nur Fenster an einer oder zwei Fassaden auf, was eine Querlüftung einschränkt bis verunmöglicht. Mit den durch den Klimawandel verbundenen steigenden Aussentemperaturen sinkt die Wirkung des Kamineffekts (stack effect) (z. B. Funktion von Schachtlüftungen). Zudem wird die Luftfeuchte in der Aussen- und Raumluft steigen, was höhere Herausforderungen an die Vermeidung von Feuchteschäden (Schimmel) in Kernzonen, wie fensterlosen Nassräumen, stellt. Diese Aspekte sind nicht nur bei Lüftungskonzepten von Neubauten relevant, sondern auch bei Gebäudeerneuerungen. Selbst wenn die Lüftung in einem alten Wohnhaus "funktioniert" hat, heisst das nicht, dass dies nach einer energetischen Sanierung und mit steigenden Aussentemperaturen auch der Fall ist.



2.2 Motivation des Projektes

Heute existieren für hybride Lüftungen weder Planungshilfen noch Planungsregeln (Normen), die auf die schweizerischen Verhältnisse zugeschnitten sind. Das führt dazu, dass technisch und konzeptionell unqualifizierte Lösungen realisiert resp. in der Planung nicht erkannt werden. Die Folge können auf der einen Seite eine ungenügende Raumlufthqualität und Feuchtschäden und auf der anderen Seite dauernd geöffnete Fenster und bewusst undicht gemachte Gebäudehüllen sein.

2.3 Projektziele

Nationale und internationale Projekte zeigen, dass hybride Lüftungen ein Teil der Planungsrealität sind. Normative Vorgaben zusammen mit zielführenden Planungshinweisen helfen die Systeme zu verbessern und zukünftige Planungsfehler zu vermeiden. Viel vom notwendigen Grundlagenwissen ist durch nationale und internationale Forschungsprojekte gegeben, die in den letzten Jahren durchgeführt wurden, Allerdings ist das vorhandene Wissen nicht gut erschlossen, Querbezüge sind nicht hergestellt und mögliche Wissenslücken sind nicht klar definiert.

Ziel des Projektes ist es daher, das aktuelle Wissen zu bündeln, Lücken zu identifizieren und zusammenzustellen. Damit wird die Basis für Planungsgrundlagen zur hybriden Lüftung gelegt. Mit dem abgeschlossenen Projekt ist das vorhandene Wissen aufbereitet und offene Fragestellungen sind definiert. Der Schlussbericht gibt klare Handlungsanweisungen und Empfehlungen, die auf eine anschliessende Schweizer Normierung der hybriden Lüftung ausgerichtet sind. Nachfolgend können dann auf dieser SIA Norm basierende Planungshandbücher und -richtlinien erstellt werden.

Zielgruppe sind prioritär Fachexperten (z. B. in Normung, Fachstellen, Planungsbüros). Der vorliegende Bericht ist eher nicht für ein breites Fachpublikum geeignet, da sehr einfache Planungsrezepte kaum verfügbar sind und auch zuerst mit der zukünftigen Normung abzustimmen sind.

Eine gute Möglichkeit zur Dissemination des Wissens ist die geplante SIA Norm, welche die Planung von hybriden Lüftungsanlagen präzisiert. Unabhängig von der geplanten Norm, bzw. bis zu ihrer Inkraftsetzung, kann das Wissen auch über die Branchenverbände (z. B. SWKI, SVLW, Suissetec) verbreitet werden. Durch die richtige Dimensionierung von hybriden Lüftungen kann das Lüftungssystem in Bezug auf Raumlufthqualität, Energie, Akustik und thermische Behaglichkeit optimal betrieben werden. So können benutzerinduzierte Manipulationen (abkleben von Durchlässen wegen Zugerscheinungen, unsachgemässes Kippen von Fenstern) am Lüftungssystem vermieden werden.



2.4 Aufbau des Berichtes

Einen raschen Überblick über das Projekt und die Ergebnisse gibt die ausführliche Zusammenfassung in Kapitel 1. Der dieser Einleitung nachfolgende Schlussbericht gliedert sich in sieben Hauptkapitel:

- Vorgehen und Methodik
- Ergebnisse Literaturrecherche
- Hybride Lüftung: Definition – Systeme – Bewertung
- Planungsthemen im Zusammenhang mit hybrider Lüftung
- Synthese aus der Analyse der Planungsthemen
- Ausblick
- Anhang

Der Bericht bündelt Wissen und stellt Fragestellungen rund um das Thema hybride Lüftung zusammen. Um das Auffinden diverser Themen zu erleichtern, zeigt die nachfolgende Tabelle einige der möglichen Fragestellungen auf und gibt das jeweilige Kapitel an, in dem sich die gewünschten Informationen finden lassen. Dabei sind die Kapitel, welche sich auf die Ergebnisse des Projektes beziehen, hellgrau hinterlegt. Methodische Kapitel und Anhänge sind nicht eingefärbt.



Tabelle 4: Mögliche Fragestellungen und Aufbau des Berichtes

Fragestellungen (Beispiel)	Kapitel und Inhalt
	1 Ausführliche Zusammenfassung
	2 Einleitung
• Wie war das Vorgehen? • Wie wurden zentrale Planungsthemen identifiziert? • Welche Quellen umfasst die Literaturrecherche? • Wie wurde der Praxisbezug gewährleistet?	3 Vorgehen und Methode Informationen zur Vorgehensweise bei der Projektarbeit
• Welche Quellen umfasst die Literaturrecherche?	4 Literaturrecherche Die Literaturrecherche umfasst nationale und internationale Forschungsprojekte, wissenschaftliche Veröffentlichungen, nationale und internationale Demonstrationsprojekte und Normen, sowie Produkte.
• Wie wird hybride Lüftung in der Literatur definiert? • Wie wird hybride Lüftung im Projekt definiert? • Was sind typische Systeme von hybriden Lüftungen? • Wie können sie bewertet werden?	5 Hybride Lüftung: Definition – Systeme – Bewertung Es werden verschiedene Definitionen aus der Literatur vorgestellt und eine Definition für das Projekt entwickelt. Zusätzlich wird eine Grafik zur Systemcharakterisierung entwickelt und anhand der Demonstrationsprojekte erprobt. Ergänzend werden typische Systeme von hybriden Lüftungen schematisch dargestellt und bewertet.
• Was sind identifizierte Probleme im Planungsalltag? • Welche Hinweise können zu Anforderungen und Lösungsansätzen gegeben werden? • Gibt es aus aktuellen Normen resultierende Lösungsansätze? • Was wären Lösungsansätze zukünftiger Normen? • Welche Fragen sind noch offen?	6 Planungsthemen im Zusammenhang mit hybrider Lüftung Die Zusammenstellung enthält zentrale Probleme, mögliche Fehlerquellen und kritische Punkte im Kontext des heutigen Planungsalltags. Es werden mögliche Lösungsansätze (normativ und allgemein) gegeben und zu klärende Fragen aufgeführt. Das Kapitel ist gemäss der Struktur von SIA 382/5:2021 gegliedert.
• In welchen Themenbereichen sind häufig offene Fragen zu finden? • Wo wäre die Klärung am wichtigsten? • In welchen Bereichen können Lösungsansätze für die zukünftige Normung identifiziert werden? • Welche die Lösungsansätze weisen Abhängigkeiten zu bestehenden Normen auf? • Können Planungshinweise zur hybriden Lüftung gegeben werden?	7 Synthese aus der Analyse der Planungsthemen Hier werden die zu klärenden Fragen zusammengefasst. Zur Klärung fehlen noch Hintergrundinformationen, Abklärungen oder die Validierung bestehender Ansätze. Es werden auch Vorschläge für Lösungen im Rahmen von Normen gemacht, dabei wird aufgezeigt, bei welchem Thema in der Normung welche Grösse festzulegen ist. Abschliessend werden aus den Planungsthemen resultierende Planungshinweise gegeben.
• Wie geht es weiter?	8 Ausblick
• Quellenangaben für den Bericht?	9 Anhang 1: Literaturverzeichnis Quellenangaben
• Welche Produkte können Wind zur Druckerhöhung nutzen?	10 Anhang 2: Komponenten/Produkte für passive Luftstromerhöhung Möglichkeiten zur Luftstromerhöhung in einem natürlichen oder hybriden Lüftungssystem durch eine passive Erhöhung der Druckdifferenzen



3 Vorgehen und Methode

3.1 Abgrenzungen

Der Hauptfokus ist auf Wohn- und Bürobauten in den Ländern Schweiz, Deutschland und Österreich gerichtet. Die regionale Begrenzung wurde daher gewählt, da in diesen Ländern der Baustandard und die Ansprüche an den Komfort recht ähnlich sind. Der Fokus auf die Gebäudetypen Wohn- und Bürobauten ist in der Tatsache begründet, dass in diesen Gebäudetypen die hybride Lüftung besonders häufig vorkommt. Dies belegt eine Übersichtsarbeit, die 96 Studien zur hybriden Lüftung auswertet [26]. Mit 56 % sind die grösste Gruppe Commercial Buildings (Verwaltungsgebäude, Handel und Hotels), die zweitgrösste Gruppe sind mit 25 % Wohngebäude (Schulen: 16 %).

Systeme mit aktiver (maschineller) Kühlung werden im Projekt nicht behandelt. Damit sind dann auch (teilweise) Lüftungskonzepte ausgenommen, die unter dem Begriff «mixed-mode ventilation» geführt werden. Dies ist dann der Fall, wenn der Begriff, wie in manchen Literaturquellen für eine Kombination aus natürlicher und mechanischer Lüftung (mit optionaler Kühlung) verwendet wird (siehe auch Kap. 4.1.).

In den nachfolgenden Absätzen werden die einzelnen Arbeitspakete des Projektes beschrieben.

3.2 Arbeitspaket 1: Literaturrecherche, Begriffsdefinition und Systeme

Es wird eine umfassende Literaturrecherche durchgeführt. Die Suche erfolgt systematisch (z. B. nach Schlagworten) und rückwärts gerichtet (z. B. Durchsicht Literaturverzeichnis zentraler Arbeiten). Die Auswahl umfasst:

1. Artikel (Fachzeitschriften und Scientific Papers (peer reviewed))
2. Demonstrationsprojekte (F&E)
3. Forschungsprojekte aus D, CH und A
4. Internationale Forschungsprojekte (speziell IEA und EU-Projekte)
5. Normen (national und EU-Länder (CEN))
6. Produkte und Komponenten im Zusammenhang mit hybrider Lüftung

Der bislang unscharfe Begriff der hybriden Lüftung wird definiert und abgegrenzt. Für die Definition wird auf Basis der Literaturrecherche (speziell Punkt 4. und 5.) eine eigene Definition erarbeitet.

Auf Basis der Literaturrecherche (speziell Punkt 2. und 3.) werden typische hybride Lüftungssysteme in der Schweizer Baulandschaft erfasst. Darauf aufbauend wird eine einheitliche Systematik für Schemazeichnungen entwickelt und die entsprechenden Schemazeichnungen werden erarbeitet. Für jedes System werden Optionen und Varianten aufgezeigt. Die Grundsysteme werden hinsichtlich Energie und Kriterien wie z. B. thermische Behaglichkeit, RLQ, Akustik, Robustheit (Nutzerverhalten), Sicherheit (Brandschutz, Einbruchsschutz), Materialökologie und Ökonomie bewertet. Die qualitative Bewertung unterscheidet zwischen «gut», «neutral» und «ungünstig». Sie basiert auf dem Konsens der Berichtsautorinnen und Autoren.

3.3 Arbeitspaket 2: Planungsthemen

Die im Zusammenhang mit hybrider Lüftung wichtigen Planungsthemen / Forschungsfragen werden identifiziert und systematisch erfasst. Aus der Literaturrecherche werden neben systembedingten Stärken und Schwächen auch häufig beobachtete Mängel und bekannte Verbesserungspotentiale beschrieben. Ergänzt werden sie durch eigene Erfahrungen aus Forschungsarbeiten des



Projektteams. Für spezifische Themen (z. B. Planungsablauf) wurden hochschulintern weitere Expertinnen und Experten beigezogen.

Die Planungsthemen werden sortiert und nach einer Überprüfung auf Machbarkeit und Zweckmässigkeit analog SIA 382/5:2021 [1] gegliedert. Grund für die Übernahme der Gliederung aus der Norm war, dass eine zukünftige Norm zur hybriden Lüftung höchstwahrscheinlich eine ähnliche Gliederung erhalten wird. Bedingt durch diese Systematik werden im Bericht einzelne Themen (z. B. Schallschutz) an mehreren Orten unter unterschiedlichen Aspekten behandelt. Diese Wiederholungen werden in Kauf genommen.

3.4 Arbeitspaket 3: Workshop Planungsthemen

Es wurden zwei Workshops mit Expertinnen und Experten aus Planung und Praxis durchgeführt

Die Gruppe besteht aus den folgenden Personen:

- Massimo Fiorentini (Empa)
- Beat Kegel (Kegel Klimasysteme)
- Martin Meier (einfach gut bauen.)
- Beat Frei (Frei Wüest Expert)
- Nadège Vetterli (BFE / Anex Ingenieure AG)

Der erste Workshop fand mit den genannten Expertinnen und Experten und dem Projektteam am 05.10.2021 statt. Vorgängig wurden die Fragen des Projektteams und der aktuelle Stand des Arbeitsdokuments an die Fachpersonen versandt. Der Workshop stellte sicher, dass die Definition für hybride Lüftung konsensfähig ist, die wichtigsten hybriden Lüftungssysteme für Wohnen und Büro genannt, die relevanten Planungsthemen, sowie Literaturquellen erfasst sind. Nachgängig zum Workshop wurde das Arbeitsdokument bereinigt und mit dem Input der Expertinnen und Experten ergänzt.

3.5 Arbeitspaket 4: Abklärung, ob Adressierung Planungsthemen mit vorhandenem Wissen möglich oder Identifikation Wissenslücke

Es wird überprüft, ob sich die Fragen mit den national und international vorhandenen Forschungsprojekten inklusive Erfahrungen und Messung an bestehenden Objekten beantworten lassen. Die wesentlichen Wissenslücken im Sinne von fehlenden Hintergrundinformationen, erforderlichen Abklärungen oder Validierungen bestehender Ansätze, werden identifiziert.

3.6 Arbeitspaket 5: Bericht / Workshop Erkenntnisse

Das vorhandene Wissen wird zusammengefasst und entsprechend der Projektsystematik aufbereitet. Die Ergebnisse werden mit Fachexperten aus Forschung und Praxis (selbe Personen wie AP 3) abgestimmt. Dazu fand am 20.09.2022 ein zweiter Workshop statt. Vorgängig wurde der bereinigte Bericht versandt. Der Workshop diente dazu sicherzustellen, dass alle Anmerkungen aus dem ersten Workshop korrekt aufgenommen wurden und gab die Gelegenheit, mögliche fehlende Planungsthemen zu ergänzen.



4 Literaturrecherche

Nachstehend findet sich eine tabellarische Auflistung der relevanten Literaturstellen für das Thema hybride Lüftung. Der Schwerpunkt der Recherche liegt auf der Schweiz und nachgeordnet auf Deutschland und Österreich, sowie teilweise mitteleuropäischen Ländern. Es werden Wohn- und Bürogebäude berücksichtigt (keine Schulen). Weitere Literaturquellen, die punktuell von Interesse sind, werden bei den Planungsthemen in Kapitel 6 zitiert.

4.1 Nationale Forschungsprojekte, CH

Tabelle 5: Zusammenstellung Literaturquellen; Nationale Forschungsprojekte Schweiz (CH).

Verwendete Abkürzungen: M = Messung, S = Simulation / Berechnung, N = Nutzerbefragung

Titel Studie	Um was geht es ?	Analyse	Quelle
Fensterlüfter - Literaturstudie, Marktstudie und Thermische Simulationen (Schlussbericht)	Fensterlüfter in der Theorie : Literaturstudie, Normen, Marktstudie zu Produkten und thermische Simulationen für Wohnung MFH.	S	[27]
ABLEG - Abluftanlagen in der energetischen Gebäudeerneuerung	Abluftanlagen mit dezentralen Aussenbauteil-Luftdurchlässen in Wohn- und Schlafzimmer. Messungen.	M, N	[28]
Abluftanlagen und Einzelraumlüftungen im Vollzug Energie	In 22 Wohnungen Einzelraumlüftungsgeräte und Abluftanlagen mit ALD (13 Whg.) untersucht. Messung Luftvolumenströme vor und nach Reinigung und Filterwechsel.	M	[29]
Energieeffiziente und bedarfsgerechte Abluftsysteme mit Abwärmenutzung (ENABL)	Es geht um Abluftanlagen mit Abwärmenutzung aus der Abluft mittels Luft/Wasser-Wärmepumpe. Fokus auf ALD und ihren thermischen Komfort sowie Akustik. Messung therm. Komfort (Zugluft), Schalldämmmass und in zwei Gebäuden Lüftung und Energie. Aufarbeitung Grundlagen für ev. spätere Norm	M, S	[30]
Küchenabluft bei der energetischen Gebäudesanierung und im Neubau	Thema Küchenabluft (z. B. Dunstabzugshauben mit Abluft- oder Umluftbetrieb) mit dichter Gebäudehülle. Messungen vier Dunstabzugshauben inkl. Nachströmeinrichtungen. Merkblatt vorhanden.	M	[31]
Untersuchung zur Lüftung von sanierten Mehrfamilienhäusern	Untersuchung von acht Siedlungen / Liegenschaften (616 Whg.) mit einfacher Lüftungsanlage oder Fensterlüftung mit Nachströmeinrichtung. Befragung (alle Wohnungen) und Messung (20 Whg.).	M	[32]
Vergleich von Lüftungskonzepten für Wohnbauten	Vergleich von fünf Lüftungskonzepten hinsichtlich Herstellungs- und Betriebsenergie, Wohlbefinden und Komfort.	S	[33]



Titel Studie	Um was geht es ?	Analyse	Quelle
FENLEG: Fensterlüfter in der etappierten Gebäudesanierung - ist der Einsatz erfolgreich?	Untersuchung von vier neu errichteten und acht sanierten Gebäudetypen mittels Gebäudebegehungen, einer Bewohnerbefragung und Messungen in acht Wohnungen.	M, N	[34]
Analyse vereinfachter Lüftungskonzepte	Lüftungskonzept mit Zuluftversorgung passiv über offene Türen aus einem gemeinsamen Korridor. Messung in zwei Wohnungen eines realisierten Objektes. Messungen in einer Testwohnung, einer Forschungswohnung unter Laborbedingungen sowie Simulation der RLQ mit CFD.	M, S	[35]
Vergleich der beiden Lüftungskonzepte der Siedlung Klee bezüglich Ökologie und Ökonomie sowie Befragung der Bewohner:innen	Untersuchung der Siedlung Klee in Zürich-Affoltern. Vergleich einer zentralen KWL (Gebäudeteil GBMZ) mit Fensterlüftung durch die Nutzenden und Abluft in Bad/Küche (Gebäudeteil BGH), mit LCA, LCC und Befragungen. Fensterlüftung schneidet bezüglich mehrerer Kriterien besser ab.	S, M, N	[36]
Konditionierung von Kellerräumen in Wohngebäuden	Feuchteschutz von Räumen in Untergeschossen. Untersuchung von vier verschiedenen Strategien bei verschiedenen Situationen (ungedämmte und gedämmte Kellerräume).	S	[37]
Nachtauskühlung über Lüftungs- öffnungen in der Fassade – Wirksamkeits- analyse	Die Wirksamkeit für die natürliche Nachtauskühlung typischer Konfigurationen von Lüftungsöffnungen als einfache Bauelemente in der Fassade wird anhand von Simulationen überprüft, auch für zukünftige Klimaszenarien.	S	[38]

4.2 Internationale Forschungsprojekte

4.2.1 IEA Projekte

Tabelle 6: Zusammenstellung Literaturquellen; IEA Forschungsprojekte (international).
Verwendete Abkürzungen: M = Messung, S = Simulation / Berechnung

Titel	Um was geht es ?	Analyse	Quelle
IEA-EBC A35 HYBVENT Hybrid Ventilation in New and Retrofitted Office Buildings	Hybride Lüftung: Grundlagen, Technologien, Regelungsstrategien und –algorithmen, Analyse und Beurteilung, sowie 13 Fallstudien. Spezifisch Gebäude B&O sowie PROBE siehe unter 4.4.3. Spezifische Technische Beiträge sind:	M, S	[39], [40]
	Zusammenfassung auf Deutsch, sowie Zusatz-Arbeiten in D	M	[41]
	Klassifizierung von hybriden Lüftungssystemen.		[42]



	Strategien zur Regelung sowie Auslegung der Case Studies Gebäude.		[43]
	Evaluation von drei hybriden Büro-Lüftungskonzepten.	S	[44]
IEA-EBC A62 VentiCool Ventilative Cooling	Kühlen durch Lüftung: Berichte zu Grundlagen, State-of-the-Art; Design-Richtlinien.		[45]
	15 Fallstudien, davon mit HL: vier Schulen, zwei Büros zwei Wohngebäude.	M, S	[46]

Anmerkung:

IEA-EBC A68: Keine Resultate von signifikanter Relevanz für das Projekt.

4.2.2 EU-Projekte

Tabelle 7: Zusammenstellung Literaturquellen; EU Forschungsprojekte.

Verwendete Abkürzungen: M = Messung, S = Simulation / Berechnung

Titel	Um was geht es ?	Analyse	Quelle
RESHYVENT Demand Controlled Hybrid Ventilation in Residential Buildings	Entwicklung und Evaluation von vier RHV-Systemen in verschiedenen Klimazonen. Detaillierte Bearbeitung in 10 WPs, so u.a. mit Demo-Anlagen für und in vier verschiedenen Klimazonen.	M, S	[47]
RESHYVENT Source book for residential hybrid ventilation development	Dos und don'ts. Beschreibung Grundlagen, Planungshinweise und technische Lösungen. Hinweise auf Forschungsthemen und Probleme.		[48]
RESHYVENT AIVC TN 59 - Parameters for the design of demand controlled hybrid ventilation systems for residential buildings	Wind-Effekte in der bebauten Umgebung; Wirksamkeit von Ablufthauben; Einfluss Gebäudedichtheit; Resultierende Druckdifferenzen über ALDs; Untersuchungen an ALD bezüglich Luftverteilung und Komfort (siehe auch BFE ENABL Projekt); Anwendungsgrenzen von CFD.	M, S	[49]
Parameters for the performance assessment of hybrid ventilation systems - Performance criteria, target levels and design constraints	Leistungsbeurteilung von HLS, Berücksichtigung Variabilität und Stochastik.	S	[50]
RESHYVENT and URBVENT AIVC TN 61 Natural and Hybrid Ventilation in the Urban Environment	Brauchbare Hinweise, wenn es um den städtischen Kontext geht.	S, M	[51]



4.2.3 Dissertationen

Tabelle 8: Zusammenstellung Literaturquellen; Dissertationen.

Verwendete Abkürzungen: M = Messung, S = Simulation / Berechnung

Titel	Um was geht es ?	Analyse	Quelle
Experimentelle Quantifizierung des Luftwechsels bei Fensterlüftung	Tracergasmessungen sowie Rechenmodell für Luftaustausch durch Dreh- und Kippfenstern, Diagramme.	M, S	[52]
Thermisch induzierter Luftaustausch durch Kippfenster	Tracergasmessungen sowie CFD Berechnungen für Luftaustausch durch Kippfenstern, Diagramme.	M, S	[53]
Passive Cooling of buildings by night-time ventilation.	Klimatisches Nachtkühlpotential für verschiedene Standorte, Einfluss Klimawandel; Methode zur Abschätzung des Nachtkühleffektes für ein bestimmtes Gebäude in Funktion Gebäudewärme- kapazität, interne Lasten und Aussenluftstraten.	S	[54]; [55]
Experimentelle und rechnerische Untersuchungen zur Kühlung dezentral belüfteter Gebäude mittels Nachtlüftung unter Berücksichtigung mikroklimatischer Einflüsse	Einfluss Sonnen und Wind-exposition von FL/ALD sowie Klimaänderungen auf Raumtemperaturen und auf Nachtkühlpotential. Messungen an acht Bürogebäuden sowie in Messkabine. Detaillierte Simulationen. Verschiedene Planungshinweise.	M, S	[56]

4.3 Scientific Papers (Peer Reviewed)

Die nachstehenden Quellen stellen eine Auswahl dar, der Schwerpunkt der Suche lag auf Übersichtsarbeiten.

Tabelle 9: Zusammenstellung ausgewählter Literaturquellen aus Scientific Papers (Peer Review).

Verwendete Abkürzungen: M = Messung, S = Simulation / Berechnung

Titel	Um was geht es ?	Analyse	Quelle
Potential and practical management of hybrid ventilation in buildings	Literaturübersicht hybride Lüftung (international, kein Schwerpunkt Schweiz). Gibt einen guten Überblick über derzeitigen Stand der Forschung und der dazu veröffentlichten Literatur. Z. B. Zahlenangaben zu untersuchten Gebäudetypen, ob Simulation oder Messung, was für eine Steuerung / Regelung.		[26]
Literature review: Mixed-mode ventilation (MMV) systems in office buildings	Gute Übersicht und Auflistung kritischer Punkte, mit umfassender Literaturliste, allerdings eben zu MMV als Kombination von NL mit aktiver (maschineller) Kühlung.		[57]



Titel	Um was geht es ?	Analyse	Quelle
Towards sustainable, energy-efficient and healthy ventilation strategies in buildings: A review	Gibt Überblick über Stand der Forschung (2016). Hybride Lüftung ist auch Thema. Einige Projekte (z. B. HybVent) genannt, auch einige Beispielgebäude (Bang und Olufsen Headquarter) und Studien. Hinweise auf zukünftige Forschungsthemen.		[58]
Perspectives of naturally ventilated buildings: A review	Literatur review natürliche Lüftung. Einflussfaktoren bei Atrien, Windtürmen etc. Hauptsächlich Simulationen. Vielleicht am Rand interessant.	S	[59]
Methodik zur vereinfachten Berechnung kontrollierter natürlicher Lüftung	Methode und Algorithmen, vorgeschlagen als Erweiterung der Methoden in DIN 1946-06:2019 resp. die DIN SPEC 4108/8 [sic. Kommentar: Aktuell lautet der Titel der Norm DIN/TS 4108/8].		[24]
Assessment of natural and hybrid ventilation models	Übersicht über die verschiedenen detaillierten Simulationsmodelle für NL und HL, als selbständige Modelle, oder auch integriert in thermischen Modellen. Evaluation der verschiedenen Modelle anhand von drei detailliert ausgemessenen hybrid belüfteten Bürogebäuden.	M, S	[60]

4.4 Demonstrationsprojekte

4.4.1 Übersicht

Ein Bestandteil der Literaturrecherche war das Auffinden von Demonstrationsprojekten. Damit sind Gebäude gemeint, die Gegenstand einer wissenschaftlichen Evaluation im Rahmen eines Forschungsprojektes sind. Die Demonstrationsprojekte dienen im Rahmen des Projektes den folgenden Zwecken:

- Zur Überprüfung und Einordnung der eigenen Definition von hybrider Lüftung (Kapitel 5.3)
- Übernahme von wichtigen Punkten, Erfahrungen und (vermeidbaren) Fehlern in die Planungsthemen (Kapitel 6).

Insgesamt wurden 9 Wohnbauten und 12 Bürobauten identifiziert.

Von den Wohnbauten sind 7 der Gebäudetypen Mehrfamilienhäuser (MFH) und 2 Einfamilienhäuser (EFH). Bei den Wohnbauten kann es pro Gebäudetyp mehrere identische Gebäude geben, diese werden in der nachfolgenden Auswertung aber nur einfach gezählt. Bei den Gebäudetypen treten zwei Typen der hybriden Lüftung auf: zum einen eine mechanische Lüftung (N = 5) und eine mechanisch und natürlich alternierende Lüftung (N = 4). Der Zweck der Lüftung ist entweder der Feuchteschutz (N = 6) und/oder die Nennlüftung (N = 5). Die Luftführung ist bei den meisten Wohngebäuden zentral (N = 6). Eine räumliche Trennung von Bereichen, die mechanisch und natürlich belüftet werden, weisen fünf Gebäude auf. Die Aussenluft strömt über ALD oder Fensterlüfter (N = 5), oder manuell über die Fenster (N = 4) nach. Sie wird im Winter in fünf Gebäudetypen über eine WRG vorgewärmt. Bei vier Gebäudetypen erfolgt keine Vorbehandlung. Die Steuerung erfolgt in drei Gebäudetypen über das Licht, bzw. die Anwesenheit, in jeweils zwei Gebäudetypen über die Feuchte oder das CO₂. Die Wärmeabgabe wird über Fussbodenheizung (N = 4), oder Radiatoren (N = 4) realisiert.



Bei den Bürobauten gibt es als Typ der hybriden Lüftung bei den meisten Gebäuden ein alternierendes System aus mechanischer und natürlicher Lüftung (N = 8). Der Zweck der Lüftung ist meistens die Nennlüftung (N = 8) und ergänzend die Wärmeabfuhr über eine Nachtlüftung (N = 7). Die Luftführung ist bei sechs Gebäuden zentral, bei vier Gebäuden gibt es eine Kaskadenlüftung und ergänzend bei vier Gebäuden ein Atrium als Zu- und Abluftzone. Die Aussenluft strömt bei acht Gebäudetypen über die Fenster nach (manuelle Öffnung (N = 3), motorische Öffnung (N = 5)). Temperiert wird die Aussenluft bei fünf Gebäuden über ein Erdregister, bei fünf Gebäuden über eine WRG. Die Steuerung, bzw. Regelung findet sensor geregelt über die Temperatur (N = 6), oder über Aussenklimaparameter (N = 4) statt. Die häufigste Art der Wärme- und Kälteabgabe ist die luftbasierte (N = 5). Das im Vergleich zur üblichen Baulandschaft eher überdurchschnittlich häufige Auftreten von Atrien und Erdregistern ist zum einen der Bauepoche einiger der Gebäude Anfang des Jahrtausends geschuldet, und andererseits der Tatsache, dass Demonstrationsprojekte tendenziell eine innovative, aber komplexe Gebäudetechnik aufweisen können.

4.4.2 National, CH

Nachfolgend eine Auflistung der Literatur zu Demonstrationsprojekten aus der Schweiz:

Tabelle 10: Zusammenstellung Literaturquellen zu Demonstrationsprojekten Schweiz.

Verwendete Abkürzungen: M = Messung, S = Simulation / Berechnung, N = Nutzerbefragung

Titel	Um was geht es ?	Analyse	Quelle
2000-Watt-Leuchtturm-Areal mehr als wohnen	Evaluation Neubauten Hunziker Areal und Optimierung Energieverbrauch. Lüftung : Vergleich Zu- / Abluftanlage und Abluftanlage mit Aussenbauteil-Luftdurchlässen. Messung CO ₂ und Temperatur, relative Feuchte und teilweise Zu- und Abluftvolumenströme.	M	[61]
Evaluation Lüftung «mehr als wohnen»	Untersuchung Lüftung Hunziker Areal. Vergleich Zu- / Abluftanlage und Abluftanlage mit Aussenbauteil-Luftdurchlässen. Befragung, Ermittlung Fensterlüftung durch Thermographie, Strommessungen zur Ermittlung Stromverbrauch.	M	[62]
FENLEG	Fensterlüfter in MFH im Zusammenhang mit Abluftventilatoren in Küche, WC und Bad. Vier Messgebäude, davon jeweils zwei Wohnungen. Abluft in drei Gebäuden permanent. In einem Gebäude intermittierend.	M, N	[34]
ABLEG	ALD im Zusammenhang mit Abluftventilatoren in Küche, WC und Bad (permanent). Messungen in zwei MFH. Fensterlüftung ist zusätzlich für die Hygiene erforderlich.	M, N	[28]
MFH Genf	Feuchtegeregeltes Aereco Abluft-/Hybrid-System (ALD und FL). Messungen in drei von 12 Wohnungen. Bedingungen therm. Komfort und RLQ wurden gut eingehalten. Fensteröffnungsverhalten der Bewohner:innen hat grossen Einfluss. Ein Modell dazu wurde abgeleitet. Dieses ist auch abhängig von der Heizkurven-Einstellung. System wird als vorteilhaft für Sanierungen eingestuft. Berechneter PE-Bedarf basierend auf Messdaten aus drei Wohnungen zwischen September 2016 und März 2020 ist mit 16.4 kWh/m ² /a in etwa gleich wie für ein System mit mechanischer Lüftung mit Wärmerückgewinnung.	M, S	[63]



Titel	Um was geht es ?	Analyse	Quelle
Analyse vereinfachter Lüftungskonzepte	Messung in zwei Wohnungen eines realisierten Objektes mit Zuluftversorgung der Zimmer passiv über offene Türen aus einem gemeinsamen Korridor.	M, S	[35]
Schwerkraftlüftung in Nassräumen	In neuerrichteten MFH wird für die Belüftung von innenliegenden Nassräumen eine Schwerkraftlüftung (ohne Ventilatoren) eingesetzt. Dabei wird das Prinzip des thermischen Auftriebes genutzt, um die Abluft über eine Steigleitung auf dem Dach ausströmen zu lassen. Der dadurch entstehende Unterdruck im Badezimmer zieht Frischluft über eine Steigleitung nach (Kölner Lüftung).	S, M (läuft 2022)	[64], [65]

4.4.3 International (Schwerpunkt Deutschland und Europa)

Tabelle 11 zeigt Literatur zu Demonstrationsprojekten aus Deutschland. Das überdurchschnittlich häufige Auftreten von Atrien und Erdregistern wird in Kap. 4.4.1 kommentiert. Tabelle 12 gibt eine Übersicht zu ausgewählten Demonstrationsprojekten aus Europa.

Tabelle 11: Zusammenstellung Literaturquellen zu Demonstrationsprojekten aus Deutschland.

Verwendete Abkürzungen: M = Messung, S = Simulation / Berechnung, N = Nutzerbefragung

Titel	Um was geht es ?	Analyse	Quelle
Solarbau:Monitor	Thema Passive Kühlung im Nichtwohnungsbau: Übersicht zu Gebäuden im Programm, in denen hybride Nachtlüftung angewendet wurde.	M	[66]
Bürohaus Lamparter	Bürogebäude mit kontrollierter Lüftung für Winter und Sommer tagsüber. Nachts im Sommer zusätzliche natürliche Nachtlüftung zur Entwärmung.	M, S, N	[67]
Verwaltungsgebäude Wagner Solartechnik	Bürogebäude mit kontrollierter Lüftung für Winter und Sommer tagsüber. Nachts im Sommer zusätzliche natürliche Nachtlüftung zur Entwärmung. Bericht müsste angefordert werden.	M, N	[68]
DB Hamm, Verwaltungsgebäude	Bürogebäude mit Atrium und Erdregister. Die zum Atrium gelegenen Büros werden manuell über die Fenster belüftet. Die übrigen Räume über die Zu- und Abluftanlage. Das Atrium dient im Sommer zur nächtlichen Entwärmung (natürliche Lüftung).	M, N	[69]
Umweltbundesamt Dessau	Bürogebäude mit Atrium und Erdregister. Mechanische Be- und Entlüftung der Büros im Winter. In der Übergangszeit Belüftung der Büros natürlich über das Atrium, in den strassenseitigen Büros als Option. Sommer: mechanische Belüftung über Erdregister tagsüber. Nachts natürliche Entlüftung über das Atrium. Lüftungsklappen automatisch, Bürotür hat Überströmer, sollte aber besser geöffnet werden.	M	[70], [71]



Titel	Um was geht es ?	Analyse	Quelle
Energieforum Berlin	Verwaltungsgebäude mit Atrium und Erdpfählen. Im Winter mechanisch be- und entlüftet. In der Übergangszeit Fensterlüftung möglich. Nachtauskühlung über Atrium (natürliche Lüftung) Bericht müsste angefordert werden.	M	[72]
Mehrfamilienhäuser Rintheimer Feld, Block R2.E2	Unterschiedliche Sanierungsstrategien. Lüftung über ALD und Abluftanlage (permanent). Fenster müssen für Hygienelüftung zusätzlich geöffnet werden. Untersuchungen bezüglich Fensteröffnungsverhalten.	M, N	[73], [74]

Tabelle 12: Zusammenstellung Literaturquellen zu Demonstrationsprojekten Europa.
Verwendete Abkürzungen: M = Messung, S = Simulation / Berechnung

Titel	Um was geht es ?	Analyse	Quelle
HR-Vent Nangis	Feuchtegeregeltes Aereco Hybrid-Passiv stack Abluft-System mit Niederdruck ABL Ventilator für die zeitweise Ergänzung zum Kamineffekt im Abluftschacht. Sehr detailliert dokumentierte Messungen (1 min Intervall) in 55 Wohnungen (in 5 MFH) über zwei Jahre. Angaben zu Druckverhältnissen, Lufraten, RLQ Parameter etc. Feuchte wird gleichwertig zu CO ₂ als RLQ Indikator bewertet.	M, S	[75]
Bürogebäude Bang & Olufsen (Dänemark)	Bürogebäude mit schmalen automatischen Lüftungsklappen an der Nordfassade. Die Luft strömt durch die Büroräume in ein offenes Treppenhaus und wird dort über Dach geführt (Nutzung vom Kamineffekt). In den Fortlufthauben sind unterstützende Ventilatoren integriert. Im Sommer wird das System für die Nachtauskühlung genutzt. Im Winter wird einströmende Aussenluft bei den Lüftungsklappen mit einem Heizregister auf 18°C temperiert. Regelung der Anlage über RLQ (Temperatur, CO ₂). Messungen über 18 Monate.	M	[76]
Bürogebäude PROBE, Modernisierung (Belgien)	Modernisierung eines Bürogebäudes. System mit einer präsenzgesteuerten mechanischen Lüftungsanlage (Zuluft in Büroräumen, Abluft in Toiletten) sowie einer natürlichen Nachtlüftung die manuell aktiviert wird. Regelung der mechanischen Anlage über Präsenz, Nachtlüftung manuell. Messungen über zwei Sommerperioden. Vergleich mit entsprechenden Simulationen mit EnergyPlus in [60].	M	[77]



Titel	Um was geht es ?	Analyse	Quelle
Demonstrationsgebäude Brno, Einfamilienhaus, (Tschechische Republik)	EFH als Demonstrationsgebäude für das im EU-RESHYVENT Projekt untersuchte Alusta-System (Niederlande). Mechanisch unterstützte natürliche Lüftung mit raumluftqualitätsgeregelten Aussenluftdurchlässen und Abluftelementen, dimensioniert auf 1-2 Pa ΔP . Abluft wird über Dach geführt und verfügt über eine Ventilatorunterstützung bei nicht ausreichender natürlicher Lüftung. Zusätzliche Aussenlufteinlässe für eine Nachtlüftung im Sommer vorhanden. Versuche mit Solarkamin. Regelung über Raumluftqualität (CO ₂) und Solluftmenge (Ventilator). Messungen während Versuchsbetrieb verfügbar.	M	[78]

4.5 Produkte

Die nachfolgenden Unterkapitel geben eine Übersicht über verschiedene Produktgruppen resp. Produkte und Komponenten, welche bei hybriden Systemen eingesetzt werden können. Die hybriden Systemvarianten sind sehr umfangreich, siehe dazu auch das Kapitel 5.4 «Systeme von hybriden Lüftungen», ebenso vielfältig sind auch die eingesetzten Produkte. Die hier aufgelistete Zusammenstellung umfasst vorwiegend Produkte aus den Demonstrations- und Forschungsprojekten und ist nicht abschliessend.

4.5.1 Übersicht Produktgruppen

Die Produkte werden fünf Produktgruppen zugeordnet:

1. Automatische Fenster resp. grossflächige Lüftungsklappen
2. Aussenbauteil-Luftdurchlässe, Fensterlüfter
3. Einzelraumlüftungsgeräte aktiv / passiv
4. Abluftanlagen, passiv aktiv (ventilatorgestützte Schachtlüftungen)
5. Aktive Überströmer oder passive Überström-Luftdurchlässe
6. Systeme für Grundlüftung

4.5.2 Übersicht Produkte (und Komponenten)

In der nachfolgenden Tabelle werden die einzelnen Produkte den Produktgruppen sortiert zugeordnet und knapp erläutert. Innerhalb der Produktgruppen sind die Produkte alphabetisch sortiert. Zusätzlich wird vermerkt in welchem Demonstrations- oder Forschungsprojekt sie eingesetzt sind. Einträge, die sich auf verschiedene Hersteller beziehen (Marktstudie, o.Ä.) werden den sortierten Einträgen vorangestellt. Gewisse Einträge beziehen sich auf verschiedene Produktgruppen eines Herstellers. Diese Einträge sind unter der massgebenden Hauptproduktgruppe zu finden mit Angabe der weiteren Produktgruppen, zu denen der Hersteller Produkte anbietet. Durch den Bezug der Einträge zu Demonstrations- und Forschungsprojekten können verschiedene Hersteller mehrmals erwähnt sein.



Tabelle 13: Zusammenstellung ausgewählter Produkte die für hybride Lüftungssysteme von Interesse sind. Verwendete Abkürzungen: PG: Produktgruppe aus Abschnitt 4.5.1

Name	PG	Um was geht es ?	Einsatz in Demonstrationsprojekt	Quelle
BauKlimatik, Regler «Klassen-bester»	1	Regler zum Verbund mit elektrisch betriebenen Fenster-Öffnungs-Antrieben. Erfasst Daten über Raumtemperatur, CO ₂ -Gehalt der Raumlufte sowie Parameter des Aussenklimas und berechnet die optimalen Öffnungswinkel der Fenster in jedem Raum. Ein entsprechendes Signal veranlasst Fenster-Öffnungs-Antriebe zur Öffnung und Schliessung.		
Roto E-Tec	1	System zur automatischen Steuerung der Öffnung von Dach- und Fassadenfenstern.		
Schüco	1, 2, 3	Autom. Fensterantriebe, dezentrale Lüftungsgeräte Mechatorinischer Beschlag TipTronic Simply Smart VentoFrame: Fensterlüfter, kann als Querlüftung oder mit Abluftanlage betrieben werden. VentoAir: Falzlüfter VentoTherm Twist: Fensterlüfter mit WRG		
Siegenia	1 / 2 / 3	Fensterantriebe sowie Fenster-, Fassaden- oder Wandlüfter, die automatisch bei geschlossenem Fenster für ein gesünderes Raumklima sorgen. Autom. Fensterantriebe DRIVE, Steuerung SENSOAIR Passive Fensterfalz- und Fensterlüfter (Typ Aeromat) Fensterlüfter Aeromat VT auch mit Wärmerückgewinnung «Rohrwandlüfter» Aerotube als ALD, können auch paarweise eingesetzt werden.		
Velux active	1	Automatisch öffnende Fenster / Dachfenster mit selbstregelndem Lüftungselement (druckbasiert, von RENSON)		
WindowMaster NV Comfort	1	System zur automatische Steuerung der Öffnung von Dach- und Fassadenfenster. Steuerung der Fensteröffnungsweite und der Öffnungsfrequenz basierend auf Messung von Temperatur, CO ₂ , Luftfeuchtigkeit, Aussentemperatur, Windgeschwindigkeit und Niederschlag.		
Fensterlüfter (allgemein)	2	In [27] findet sich eine Marktstudie zu Fensterlüftern, in der ca. 50 Produkte hinsichtlich Ausstattung, Schallschutz, Leistungsdaten Luftwechsel etc. miteinander verglichen werden.		[27]



Name	PG	Um was geht es ?	Einsatz in Demonstrationsprojekt	Quelle
Fensterlüfter (allgemein)	2	In [79] finden sich Produktebeispiele für drei Hauptklassen von Fensterlüftern. Daneben werden in der Publikation Auslegungshinweise und Einsatzempfehlungen für diese Elemente gegeben.		[79]
Aereco	2	Fensterlüfter (Rahmen), z. T. feuchtegeführt	MFH (R2.E2, R1)	[74]
Aerex AL-dB-450-40, AL_db_450	2	Fensterlüfter, Aufsatzelement integriert in Blendrahmen	FENLEG, MFH	[34]
Anjos, L 30 S	2	Fensterlüfter, Aufsatzelement oberhalb Blendrahmen	FENLEG, MFH	[34]
Ego Kiefer Secco	2	Fensterlüfter, Falzlüfter	FENLEG, MFH	[34]
Helios ALD ZLA 100, ZTV-100	2	Aussenbauteil-Luftdurchlässe	FENLEG, MFH	[34]
Helios ALEF 45	2	Fensterlüfter, Aufsatzelement integriert in Blendrahmen	FENLEG, MFH	[34]
Kömmerling, KöClimat plus	2	Fensterlüfter (Falz)	MFH (R2.E3)	[74]
Regelair "Forte"	2	Fensterlüfter, Falzlüfter	FENLEG, MFH	[34]
Regel Air	2	Fensterlüfter (Falz)	MFH (R2.E3)	[74]
Renson, Invisivent EVO AKD, Sonoslot – P475,	2	Fensterlüfter, Aufsatzelement integriert in Blendrahmen	FENLEG, MFH	[34]
Renson Abluftsysteme Healthbox	2, 4	Aussenluftdurchlässe (fix und steuerbar), Überströmelemente sowie zugehörige bedarfsgeführte Abluftanlagen.		
Siegenia Aeromat VT, Typ DF2	2	Fensterlüfter, Aufsatzelement oberhalb Blendrahmen, Seite Blendrahmen	FENLEG, MFH	[34]
Trivent ZEF-S	2	Fensterlüfter, Aufsatzelement integriert in Blendrahmen	FENLEG, MFH	[34]
Schüco	3	Dezentrale, fensterweise Lüftungsgeräte mit Wärmerückgewinnung (WRG 80 %)	MFH (R2.E1)	[74]



Name	PG	Um was geht es ?	Einsatz in Demonstrationsprojekt	Quelle
WiVent Lüftungssystem (Wildeboer)	3	Lüftungseräte als Brüstungsgerät ausgeführt mit Freigabeeingang, nutzbar für einen hybriden Lüftungsbetrieb zum Wechsel zwischen mechanischer und natürlicher Lüftung, beispielsweise über ein Steuersignal oder einen Fensterkontakt.		[80]
Aereco	4, 2	Hybrides Abluftsystem resp. ventilatorgestützte Schachtlüftung, (auch für MFH) mit a) FL und b) Abluftdurchlässen, auch feuchtegesteuert, dimensioniert für kleine Druckdifferenzen (Dp). c) Abluftventilator, ebenfalls für kleine Dp, der sich bei Bedarf zuschaltet.	Genf (MFH) NANGIS HR-VENT (F)	[63], [75]
Aereco	4, 2	Ein zentraler, differenzdruck geregelter Abluftventilator erzeugt einen kontinuierlichen Luftwechsel. Bei der mechanischen, feuchte geregelten Wohnungslüftung führt die Absaugung der verbrauchten Luft durch die Abluftelemente in den Ablufträumen zu einer Lüftererneuerung im Gebäude. Die Abluftelemente, mit oder ohne automatischer Auslösung der Intensivlüftung, bestimmen die Luftmengen in jeder Wohneinheit.	ABLEG, MFH	[28]
Trivent, Aquavent	4, 2	Das Lüftungssystem Aquavent ist eine vereinfachte Lösung einer kontrollierten Wohnungslüftung. Diese Lösung basiert auf einem Abluft-System mit Abwärmenutzung. Mittels bedarfsgesteuerten Ventilatoren in Nebenräumen wird ein Unterdruck erzeugt. Durch Aussenbauteil-Luftdurchlässe strömt Aussenluft nach.	ABLEG, MFH	[28]
Sensoren für Druck: Diverse, z. B. Beck, Belimo, Rotronic, Sauter, Systemair, Thermocon Luftgeschw.: z. B. Schmidt	4	Niederdrucksensoren für Differenzdruckmessung. Messbereich typischerweise 10 ...250 Pa. Als Sensoren mit Membrane (kein Luftdurchfluss im Sensor; period. automatische Nullpunktkalibrierung wichtig) oder mit Flow-basiertem Messaufnehmer erhältlich. Ein Produkt zur Volumenstromregelung von Laborabzügen (Sauter SVU 100, Messbereich 0..1 Pa) kann u.U. für spezielle Fälle auch für HL zum Einsatz kommen. Anmerkung: Für Niederdrucksysteme wären tiefere Messbereiche (< 10 Pa) sinnvoll. Alternativ ist es ev. zielführender für die Regelung direkt die Luftgeschwindigkeit anstatt der Druckdifferenz zu messen, oder - falls möglich - über die Ventilatorenkurve die Luftmenge indirekt zu bestimmen (aus Drehzahl und Leistung).		
Tellerventil in Rohr	4	Schwerkraftlüftung (Kölner Lüftung) in einem Neubau MFH, Untersuchung mit Simulationen, Messprojekt läuft.	MFH	[64]



Name	PG	Um was geht es ?	Einsatz in Demonstrationsprojekt	Quelle
Überström-Luftdurchlass, passiv	5	Auswertung bezüglich Druckverlusten aus herstellerepezifischen Informationen verschiedener Produkte und Messungen zu Elementen, die sich für passive Überströmung eignen können.		[35]
Überströmer, aktiv	5	Bericht des Preisgerichtes zum Produktwettbewerb zu aktiven Überströmern. Dokumentation diverser Herstellerlösungen, die zum Teil vergleichbar auch am Markt erhältlich sind.		[81]
Wesco Balance	6	System zur Sicherstellung der Grundlüftung in den Wohnräumen mit bestehenden Geräten wie beispielsweise der Dunstabzugshaube in der Küche. Die Zuluft der Grundlüftung wird über ein dezentrales Zuluftgerät (AIRBOX®) in den Raum gebracht, das Aussenluft über eine Öffnung in der Fassade bezieht und sie gereinigt und thermisch konditioniert in die Räume abgibt.		
Zehnder ComfoFlow	6	System zur Sicherstellung der Grundlüftung mit WRG. Zentral eingeführte Zuluft, Abluft in Nassbereichen / Küche. Luftverteilung in Wohnung durch passive / aktive Überströmung.		

4.6 Normen

Es gibt zwar keine Norm, die sich ausschliesslich auf hybride Lüftungen bezieht, allerdings finden diese Lüftungen in einigen Normen Erwähnung.

Tabelle 14 zeigt eine grobe Zusammenstellung für welche Typen von hybriden Lüftungskonzepten in der aktuellen (bzw. geplanten) Normung Festlegungen zur Dimensionierung bzw. allgemeine Hinweise zur Auslegung vorhanden sind.



Tabelle 14: Abdeckung der Konzepte durch Normung.

Verwendete Abkürzungen: D = Festlegungen zur Dimensionierung; H = Allgemeine Hinweise zur Auslegung;

(H) = nicht im Fokus der Norm, *) = Norm besitzt keine Gültigkeit in der Schweiz (aber von Interesse für das Projekt)

**) Anforderungen bezüglich Nachtauskühlung im Sommer

Art der hyb. Lüftung		unterstützend		alternativ, zeitlich		alternativ, örtlich	
Norm	Fokus	mech. Lüftung	natürl. Lüftung	mech. Lüftung	natürl. Lüftung	mech. Lüftung	natürl. Lüftung
SIA 180: 2014	Allg.			D **)	D **)		
SIA 382/1: 2014	ML	D	(H)	D	(H)	D	-
SIA 382/5:2021	Wohnen						
prEN 15665:2022-09-30	Wohnen	D?	D?	?	?	?	?
DIN 1946-6:2019 *)	Wohnen	D	D			D	D
DIN 18017-3:2020-05*)	Wohnen	D	H	D	H	D	H

In den nachfolgenden Kapiteln werden die einzelnen Normen nochmals detaillierter betrachtet.

4.6.1 Schweiz: SIA 382/5:2021

Tabelle 15 zeigt die Begriffsdefinitionen, die sich in Kapitel 1 „*Verständigung*“ der Norm finden.

Tabelle 15: Begriffsdefinitionen in SIA 382/5:2021 [1]

Kapitel	Art der Lüftung	Definition
1.1.1.3	Mechanische Lüftung	„Luftaustausch, angetrieben von einem oder mehreren Ventilatoren. (SIA 382/1)“
1.1.1.4	Natürliche Lüftung	„Luftaustausch, angetrieben von Wind- und/oder thermischen Kräften (Fensterlüftung, thermische Lüftung über einen Schacht sowie Infiltration und Exfiltration). (SIA 382/1)“
1.1.1.5	Hybride Lüftung	„Lüftung, die auf natürliche und mechanische Be- und Entlüftung im gleichen Gebäudeteil angewiesen ist und in Abhängigkeit von der gegebenen Situation geregelt wird (entweder natürliche oder mechanische Antriebskräfte bzw. Kombination dieser Antriebskräfte). (in Anlehnung an SN EN 16798-3:2017)“
		Anmerkung: Die Definition der hybriden Lüftung in der EN 16798-3:2017 lautet gleich, ausser dass der Begriff "maschinell" anstelle von "mechanisch" verwendet wird.

Gemäss der Abgrenzung in *Kapitel 0.1.2* und dem Vorwort gilt die Norm nicht für natürliche und hybride Lüftungen. An einigen Stellen wird aber auf die hybride und natürliche Lüftung verwiesen. Diese sind nachfolgend aufgeführt.

Im Kapitel „4 Projektierung“ wird unter „4.1 Vorgehen“ auf die Lüftungsmethoden eingegangen:



«4.1.3 Die natürliche und die mechanische Lüftung können sowohl allein wie auch in Kombination eingesetzt werden (hybride Lüftung). Beispielsweise werden Gebäude oder Wohnungen mit einfachen Lüftungsanlagen belüftet, die Nachtauskühlung im Sommer erfolgt mit unterstützender Fensterlüftung.

[...]

4.1.7 In Räumen mit Fenstern oder Lüftungsflügeln müssen die Nutzer/Bewohner mindestens eines dieser Elemente jederzeit öffnen können.

[...]

4.1.10 Die hier behandelten Lüftungssysteme führen Raumlufbelastungen kontinuierlich und in einem Zeitraum von Stunden ab. Für seltene und ausserordentlich hohe Raumlufbelastungen, die innert Minuten abgeführt werden sollten, ist immer die Möglichkeit einer zusätzlichen Fensterlüftung vorzusehen. In der Regel ist eine unterstützende Fensterlüftung auch für den sommerlichen Wärmeschutz erforderlich (Nachtauskühlung).“

Bei der Projektierung wird offenbar davon ausgegangen, dass eine mechanische Wohnungslüftung in der Regel Teil einer hybriden Lüftung ist. Die natürliche Lüftung übernimmt als Intensivlüftung das Abführen von hohen Raumlufbelastungen und Wärmelasten. Dies wird im Kapitel „5 Berechnung, Bemessung und technische Anforderungen“ unter „5.2 Luftvolumenströme“ bestätigt:

„5.2.1.2 Die erforderlichen Aussenluftraten richten sich nach der zugrundeliegenden Lüftungsstrategie:

[...]

– Intensivlüftung: In Räumen mit grosser Raumlufbelastung muss eine intensive Lüftung (z. B. durch Fensterlüftung) möglich sein.

– Abluft: Für das lokale Absaugen von Emissionen in Küche (sofern nicht im Durchströmbereich), Bad und WC sind Fenster zum Öffnen und/oder Abluftanlagen vorzusehen.“

In Kapitel „4.4.4 Kochstellenentlüftung“ wird dazu ein Spezialfall aufgeführt:

„4.4.4.2 Intensivlüftung über Fenster

Auf eine Dunstabzugshaube kann verzichtet werden, wenn

- die Küche oder Kochnische durch eine Tür vom Rest der Wohnung, inkl. Korridor, abgetrennt werden kann und
- die Emissionen der Kochstelle wirksam durch eine Fensterlüftung abgeführt werden können.“

Im Kapitel „6 Instruktion“ wird verlangt, dass über den Hybridbetrieb informiert wird und schriftliche Instruktionen abgegeben werden:

„6.4.2 Im Rahmen der Instruktion sind folgende Themen zu erörtern und in Form einer einfachen schriftlichen Anleitung abzugeben:

[...]

– Zusätzliche Fensteröffnung im Winter, speziell das Schlafen bei offenem Fenster.

[...]

– Sommerbetrieb und sommerlicher Wärmeschutz: Ausschalten der Lüftungsanlage, Sommer-Bypass, Vorkühlung mit WRG bei hohen Aussentemperaturen, Nachtauskühlung mit Fensterlüftung, Betätigen der Beschattungseinrichtung.“

Als Fazit kann gesagt werden, dass die SIA 382/5:2021 [1] zwar nur die mechanische Lüftung normativ regelt, dass aber bei der Projektierung und der Auslegung davon ausgegangen wird, dass die mechanische Lüftung in der Regel mit einer natürlichen Lüftung kombiniert ist. Wie die natürliche Lüftung bei diesen hybriden Systemen konzipiert und ausgelegt wird, ist aber nicht Bestandteil der Norm.

Eine grobe Auslegung der Fensterlüftung wird in der übergeordneten Norm SIA 382/1:2014 [2], Kap. „5.2 Fensterlüftung“ behandelt. Informationen dazu siehe nachfolgendes Kapitel.



4.6.2 Schweiz: SIA 382/1:2014

Bei Fertigstellung des vorliegenden Berichts befand sich die SIA 382/1:2014 [2] in Revision. Wie die hybride Lüftung in der neuen Version der prSIA 382/1 behandelt wird, kann daher im Rahmen des Projekts nicht beurteilt werden. Die nachfolgenden Bemerkungen beziehen sich auf die derzeit gültige Fassung.

In SIA 382/1:2014 [2] werden an verschiedenen Orten Hinweise und Festlegungen gemacht, die sowohl für die mechanische Lüftung aber auch für die natürliche Lüftung angewendet werden können, oder für den Planungsprozess (Entscheidungsfindung) von Relevanz sind. Folgende Hauptpunkte können erwähnt werden:

Kapitel «2.2.4 *Raumluftgeschwindigkeit*»: Hier werden Anforderungen an die zulässige Raumluftgeschwindigkeit (Behaglichkeit) sowohl für mechanische Lüftung wie auch natürliche Lüftung gestellt (z. B. in Figur 3).

Kapitel «4.2.2 *Fensterlüftung*»: Hier werden Anforderungen an die Fensterlüftung definiert. Darin enthalten sind auch Angaben zur Dimensionierung bei reiner Fensterlüftung. In Figur 5 wird zudem ein Flussdiagramm zur Entscheidung, ob eine reine Fensterlüftung angewendet werden kann, präsentiert (Bestimmung des Grundkonzepts zur Aussenluftversorgung).

Kapitel «5.2 *Fensterlüftung*»: In diesem Kapitel werden die Grundsätze zu Bemessung einer Fensterlüftung präzisiert (mit Anforderungen an die freie Strömungsfläche und Einsatzgrenzen bezüglich des Verhältnisses von Raumtiefe zu Raumhöhe).

4.6.3 Schweiz: SIA 180:2014

Die Revision von SIA 180:2014 [3] ist geplant. Die nachfolgenden Bemerkungen beziehen sich auf die derzeit gültige Fassung.

In SIA 180:2014 werden an verschiedenen Orten Hinweise und Festlegungen gemacht, die sowohl für die mechanische Lüftung aber auch für die natürliche Lüftung angewendet werden können, oder für den Planungsprozess (Entscheidungsfindung) von Relevanz sind. Folgende Hauptpunkte können erwähnt werden:

Kapitel «2.2 und 2.3 *Anforderungen an Räume*»: In diesen Kapiteln sind Anforderungen an die Behaglichkeitsparameter (Temperatur, Zugluft, in Räumen mit und ohne mechanische Lüftungsanlagen definiert. Einzelne Graphiken sind identisch in SIA 382/1:2014 [2] vorhanden (z. B. Figur 4 (Achtung Corrigendum C2 [82] beachten!) und Figur 5).

Kapitel «3.1 *Raumluftqualität*»: In diesem Abschnitt werden allgemeine Anforderungen und Grundsätze dargelegt, die sowohl für natürliche wie auch mechanische Lüftung gelten.

Kapitel «3.2 *Lüftungskonzept*»: In diesem Abschnitt werden allgemeine Grundsätze festgelegt, die bei der Erstellung eines Lüftungskonzeptes zu beachten sind. Insofern sind diese Grundsätze sowohl auf natürliche als auch mechanische Lüftung anwendbar.

Vergleichbar mit Kapitel 3.1 von SIA 180:2014 [3] werden in Kapitel «3.3 *Reduktion der Luftemissionsquellen*» und Kapitel «3.4 *Luftschadstoffe in der Nähe ihrer Quellen abführen*» allgemeine Anforderungen und Grundsätze dargelegt, die sowohl für natürliche als auch mechanische Lüftung gelten.

Kapitel «3.5 *Minimal notwendiger Aussenluft-Volumenstrom*»: In diesem Kapitel sind Grundsätze, Anforderungen und Berechnungsmethoden definiert, die teilweise für alle Arten der Lüftung gelten, und zum Teil auch spezifische Anforderungen, die auf mechanische Lüftungsanlagen anzuwenden sind.



Kapitel «3.6 *Luftdichtheit der Hüllfläche*»: In diesem Abschnitt werden Grundsätze zur Luftdichtheit der Gebäudehülle festgelegt, die sowohl auf natürliche als auch mechanische Lüftung anwendbar sind. Bei gewissen Anforderungen wird explizit unterschieden zwischen Gebäuden mit natürlicher und solchen mit mechanischer Lüftung (z. B. Tabelle 5 Grenz- und Zielwerte der Luftdurchlässigkeit der Hüllfläche).

Kapitel «5 *Wärmeschutz im Sommer*»: In diesem Abschnitt werden vor allem die im Unterkapitel 5.2.3 bis 5.2.6 anzuwendenden Verfahren beschrieben und deren Anforderungen festgelegt, um eine Nachtauskühlung zu erreichen (Verfahren 1, 2 und 3). Diese Anforderungen gelten sowohl für Gebäude mit natürlicher wie auch mit mechanischer Lüftung.

4.6.4 Schweiz: Normen, die indirekt, oder direkt hybride Systeme behandeln, bzw. erwähnen

Tabelle 16: Normen in der Schweiz im Zusammenhang mit hybrider Lüftung

Titel	Um was geht es?	Quelle
SN EN 13465:2004	«<i>Lüftung von Gebäuden - Berechnungsverfahren zur Bestimmung von Luftvolumenströmen in Wohnungen</i>» Es werden Verfahren zur Berechnung der Grundwerte von Gesamtgebäude-Luftvolumenströmen für Einfamilienhäuser und Einzelwohnungen bis zu einer Grösse von etwa 1000 m³ festgeschrieben. Die Norm kann bei Energieverlustrechnungen, Heizlastberechnungen und der Bewertung der Innenluftqualität angewendet werden. Es werden freie Lüftungs-, maschinelle Entlüftungs- sowie kombinierte Be- und Entlüftungsanlagen behandelt (keine Querlüftung). Die Anwendung bezieht sich auf die Heizperiode. Kommentar: diese Norm ist in der Schweiz offiziell noch nicht zurückgezogen, dafür aber in anderen Ländern. Als Ersatz wird z. B. vom DIN die DIN EN 15242:2007 angegeben.	[4]
SN EN 15242:2007	«<i>Lüftung von Gebäuden - Berechnungsverfahren zur Bestimmung der Luftvolumenströme in Gebäuden einschliesslich Infiltration</i>» Diese Norm beschreibt das Verfahren zur Berechnung der durch die Lüftung verursachten Luftvolumenströme in Gebäuden. Kommentar: diese Norm ist in der Schweiz offiziell noch nicht zurückgezogen (dafür aber in anderen Ländern), auf der Titelseite wird EN 16798-7 als Ersatz angegeben.	[6]
SN EN 14134:2019	«<i>Lüftung von Gebäuden - Leistungsprüfung und Funktionsprüfungen von Lüftungsanlagen in Wohnungen</i>» Diese Norm behandelt hybride Lüftung, nicht aber den alternierenden Betrieb.	[5]



Titel	Um was geht es?	Quelle
SN EN 16798-7:2017	<i>«Energetische Bewertung von Gebäuden - Lüftung von Gebäuden - Teil 7: Berechnungsmethoden zur Bestimmung der Luftvolumenströme in Gebäuden einschließlich Infiltration (Modul M5-5)»</i> Hier werden Berechnungsansätze für natürliche Lüftung gegeben. Hybride Lüftungssysteme sind enthalten.	[12]
SNG CEN/TR 16798-8:2017	<i>«Energieeffizienz von Gebäuden - Lüftung von Gebäuden - Teil 8: Interpretation der Anforderungen der EN 16798-7 - Berechnungsmethoden zur Bestimmung der Luftvolumenströme in Gebäuden einschließlich Infiltration (Modul M5-5)»</i> Zu SN EN 16798-7 gehöriger Technical Report mit ergänzenden Erläuterungen. Es ist auch eine Case Study [83] zu den Berechnungsverfahren zur natürlichen Lüftung verfügbar.	[13]
SN EN 15665:2009	<i>«Lüftung von Gebäuden - Bestimmung von Leistungskriterien für Lüftungssysteme in Wohngebäuden»</i> Diese Norm beinhaltet im Anwendungsbereich (Kapitel 1) auch die rein natürliche, wie auch die hybride Lüftung. In dieser Norm werden jedoch nur wenige Anforderungen präsentiert (v.A. Wertevorschläge für Kriterien). Für die Berechnung wird in dieser Norm insbesondere auf SN EN 15242:2007 verwiesen.	[8]

4.6.5 Normen EU-Länder

Hybride Lüftung

In Erarbeitung steht die europäische Norm prEN 15665:2022-09-30 [11] *«Mechanical, hybrid and natural residential ventilation»*, welche das Thema der hybriden Lüftung abdecken wird. Im weiteren wird in der DIN Norm 1946-6:2019 [18] auch die hybride Lüftung thematisiert. Tabelle 17 zeigt die identifizierten relevanten Normen zum Thema.

Tabelle 17: Weitere relevante Normen zur Thematik. Verwendete Abkürzungen: vertraul. = vertraulich

Titel	Um was geht es?	Quelle
Critical review of standards for indoor thermal environment and air quality	Übersicht über aktuelle Anforderungen internationaler Normen an thermischen Komfort, Luftwechsel und Luftqualität. Gibt Zahlenwerte für Verwaltung und Wohnen an.	[84]
DIN 1946-6:2019	<i>«Raumluftechnik – Teil 6: Lüftung von Wohnungen – Allgemeine Anforderungen, Anforderungen an die Auslegung, Ausführung, Inbetriebnahme und Übergabe sowie Instandhaltung»</i> Massgebliche Norm in Deutschland zur Lüftung von Wohnungen.	[18]



Titel	Um was geht es?	Quelle
DIN 18017-3:2020-05	<i>«Lüftung von Bädern und Toilettenräumen ohne Aussenfenster – Teil 3 Lüftung mit Ventilatoren»</i> Nicht enthalten sind Entlüftungsanlagen mit denen mehr als die doppelten, planmäßigen Mindest-Abluftvolumenströme gefördert werden und die Lüftung von Küchen ohne Fenster.	[19]
CEN/TR 14788:2006	<i>«Lüftung von Gebäuden - Ausführung und Bemessung der Lüftungssysteme von Wohnungen»</i> Dieser Technische Bericht legt Empfehlungen für die Leistung und Ausführung von Lüftungsanlagen fest, die in Einfamilien- und Mehrfamilienhäusern genutzt werden. Es werden vier grundlegende Lüftungsarten behandelt: freie Lüftung, ventilatorunterstützte Belüftung, ventilatorunterstützte Entlüftung und ventilatorunterstützte, ausgeglichene Lüftung.	[85]
prEN 15665:2022-09-30	<i>“Ventilation for buildings — Ventilation systems in residential buildings — Design”</i> Unveröffentlichte Arbeitsdokumente zu prEN 15665 <i>«Natural and mechanical powered residential ventilation»</i> der CEN/TC 156 / WG 2 (Dokument N 1310 von 2022-09-30)	vertraul. [11]
Normenprojekt	CEN TC 156 WG 20 Task Group NatVent-HybrVent in non-residential buildings	
Normenprojekt	WI 00156243ÜEN TS <i>“Ventilation for buildings - Natural and hybrid ventilation systems in non-residential buildings – Design”</i>	

Anmerkung zum Zusammenhang von DIN 18017-3:2020-05 [19] und DIN 1946-6:2019 [18]:

Für Wohnungen und wohnähnliche Nutzungen mit innenliegenden Bädern, bzw. Toiletten sind sowohl DIN 18017-3:2020-05 als auch DIN 1946-6 zutreffend. DIN 1946-6 ist für das Lüftungskonzept der gesamten Nutzungseinheit massgeblich, DIN 18017-3:2020-05 ist für die Lüftung der innenliegen Bäder bzw. Toiletten zutreffend. Das Zusammenwirken der Normen wird in der Fachliteratur in vier Anwendungsfällen unterschieden. Weitere Informationen in [86], Kap. 9.3.3 und [87] Kap. 6.3.

Die Österreichischen Normen behandeln die hybride Lüftung bisher nicht (Stand Dezember 2022).



Berechnungsverfahren

Tabelle 18: CEN-Normen, die Berechnungsverfahren festlegen.

Titel	Um was geht es?	Quelle
SN EN 16798-1:2019	«Energetische Bewertung von Gebäuden - Teil 1: Eingangsparameter für das Innenraumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden bezüglich Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik - Module M1-6» Diese Norm behandelt das Innenraumklima von Wohn- und Nichtwohngebäuden in Bezug auf thermisches Raumklima, Raumluftqualität, Beleuchtung und Akustik. Es wird definiert, wie Eingangsparameter für das Innenraumklima festzulegen sind, die bei der Auslegung von Gebäuden, Anlagen und bei der Energiebedarfsberechnung verwendet werden sollen. Weiter werden Auslegungskriterien für lokale thermische Unbehaglichkeitsfaktoren wie Zugluft, Asymmetrie der Strahlungstemperatur, vertikale Lufttemperaturunterschiede und Fußbodenoberflächentemperaturen gegeben.	[14]
SN EN 16798-7:2017	«Energetische Bewertung von Gebäuden - Lüftung von Gebäuden - Teil 7: Berechnungsmethoden zur Bestimmung der Luftvolumenströme in Gebäuden einschließlich Infiltration (Modul M5-5)» Diese Norm beschreibt Berechnungsverfahren für durch mechanische wie auch natürliche Lüftung verursachte Luftströme im Gebäude, inkl. Fensterlüftung. Sie gilt für Wohngebäude (MFH und EFH) und flache Nichtwohngebäude. Die Norm gilt auch für Hybridsysteme, bei denen mechanische Lüftungsanlagen und natürliche Lüftung kombiniert werden. Es werden zwei Verfahren vorgeschlagen: 1. Abschätzung der Luftströme aufgrund von ausführlichen Eingabedaten für Umgebung, Gebäude und Lüftungssystem. 2. Regeln für einen (auf nationaler Ebene zu erstellenden) statistischen Ansatz, der auf Berechnungen (gemäss 1) oder auf Messungen beruht. Beide Verfahren können z. B. Eingang in Berechnungsprogramme finden. Es gibt auch eine Technical Note zu dieser Norm (SNG CEN/TR 16798-8:2017 [13] und eine Case Study, in der das Berechnungsverfahren in Kopplung mit einem thermischen Modell gemäss EN ISO 52016-1 umgesetzt wird [83].	[12], [13], [83]



5 Hybride Lüftung: Definition – Systeme – Bewertung

5.1 Hybride Lüftung: Definitionen gemäss Literatur

In den Definitionen, welche sich in der Literatur finden, wird das System zumeist als Kombination aus natürlicher und mechanischer Lüftung definiert. In verschiedenen Definitionen wird zudem der Zweck des Systems spezifiziert und auf die zeitliche Abhängigkeit der Betriebsfälle sowie die dafür erforderliche Steuerung hingewiesen. So z. B. im Bericht zu "IEA-EBC Annex 35 Principles of Hybrid Ventilation"[39]: *"The primary purpose of ventilation is to provide acceptable indoor air quality and thermal comfort. Hybrid ventilation systems can be described as systems that provide a comfortable internal environment using both natural ventilation and mechanical systems, but using different features of these systems at different times of the day or season of the year. In hybrid ventilation mechanical and natural forces are combined in a two-mode system where the operating mode varies according to the season, and within individual days. Thus the active mode reflects the external environment and takes maximum advantage of ambient conditions at any point in time. The main difference between a conventional ventilation system and a hybrid system is the fact that the latter has an intelligent control system that can switch automatically between natural and mechanical modes in order to minimize energy consumption."*

Eine ähnliche Definition ist auch in «Hybrid Ventilation, State of the Art Review IEA EBC Annex 35» [88] zu finden.

Sehr viel eingeschränkter ist die Definition im Bericht «Anforderungen an Lüftungskonzeptionen in Gebäuden, Teil II: Wohngebäude» (Arbeitskreis Lüftung am Umweltbundesamt, D) [89]: *«Hybride Lüftung: Die Aufrechterhaltung einer Grundbedarfslüftung über mechanische Lüftung kombiniert mit Zusatzlüftungsmöglichkeit über Fenster bei hohen Lüftungsbedarfsanforderungen (Spitzenlasten).»*

Auch im Entwurf der ÖNORM H 6039 ist die Definition stark vereinfacht gehalten: *«3.4 hybride Lüftung: Mechanisches Lüftungssystem zur Erreichung der geforderten Luftqualität und zusätzlicher Möglichkeit der Lüftung über Fenster.»*

In der Norm SN EN 12792:2003 «Lüftung von Gebäuden - Symbole, Terminologie und graphische Symbole» [10] ist nachfolgende Definition enthalten. *«Kombinierte oder Hybrid-Lüftung Lüftung, bei der freie Lüftung mindestens während eines bestimmten Zeitabschnittes durch ventilatorgestützte Lüftung unterstützt oder ersetzt wird.»*

In SIA 382/5:2021 [1] wird mit Bezugnahme auf SN EN 16798-3:2017 [15] die hybride Lüftung wie folgt definiert: *«Lüftung, die auf natürliche und mechanische Be- und Entlüftung im gleichen Gebäudeteil angewiesen ist und in Abhängigkeit von der gegebenen Situation geregelt wird (entweder natürliche oder mechanische Antriebskräfte bzw. Kombination dieser Antriebskräfte)»*

In DIN 1946-6: 2019 [18] ist in Kapitel 9.4 Hybridlüftung eine sehr spezifische Definition bzw. eher ein kurzer Auslegungsbescrieb zu den Hybridlüftungen vorhanden: *«Die Hybrid-Lüftung basiert auf einer Zentralventilator-Lüftungsanlage, bei der der Ventilator automatisch ausser Betrieb gesetzt wird bzw. mit geringerer Drehzahl weiterbetrieben werden kann, wenn der thermische Auftrieb über die Hauptleitung bzw. den Lüftungsschacht ausreichend für die Sicherstellung der geplanten Lüftungsstufe ist. Die Schaltung des Ventilators ist so zu steuern, dass ein vorgegebener mindestens erforderlicher Unterdruck im Lüftungsschacht sichergestellt wird.*

Für die Berechnung muss ein Haupt-Lüftungssystem festgelegt werden. Als Haupt-Lüftungssystem kann bei üblichen Betriebsbedingungen das System gelten, welches den überwiegenden Teil der Heizperiode die Lüftung der Nutzungseinheit übernimmt. Die Auslegung (und die Festlegung der maßgeblichen Lüftungsstufe erfolgt für das Haupt-Lüftungssystem mit den Berechnungsvorschriften für freie und ventilatorgestützte Lüftung [siehe Abschnitt 7 und Abschnitt 8].»



Eine relativ breite Definition ist im aktuellen Arbeitsstand des Normenentwurfes prEN 15665 (nicht veröffentlicht, Stand 2022-09-30 [11]) zu finden: *“Hybrid ventilation: The operating principle of hybrid ventilation is based on the combination or alternation of natural ventilation and mechanical ventilation. Hybrid ventilation can be subdivided into 4 different types:*

- *Alternate hybrid ventilation that is based on the alternation of fully autonomous natural ventilation and mechanical ventilation;*
- *Combined hybrid ventilation that is based on the combination of natural ventilation and mechanical ventilation that share common components;*
- *Fan assisted hybrid ventilation that is based on natural ventilation that may be supported by fans;*
- *Stack and wind assisted hybrid ventilation that is based on mechanical ventilation that may be supported by the effect of wind and the stack effect.”*

Der Entwurf dieser Norm soll in Zukunft die aktuelle Norm SN EN 15665:2009 «Lüftung von Gebäuden - Bestimmung von Leistungskriterien für Lüftungssysteme in Wohngebäuden» [8] ersetzen und sie vor allem auch bezüglich der natürlichen und hybriden Lüftung erweitern.

Ebenso breit gefasst, aber mit Betonung auf eine Automation, ist die nachfolgende Definition der CEN Technical Specification WI 00156243 Ventilation for buildings – Natural and hybrid ventilation systems in non-residential buildings – Design:

Hybrid ventilation, also known as mixed mode ventilation, is based on the combination or alternation of natural ventilation and mechanical ventilation. These two main hybrid ventilation strategies can be e.g.;

- *In combination, the performance of mechanical fans is continuously adjusted in accordance with the decrease or increase of the natural (ventilation) driving forces.*
- *In alternation, the hybrid ventilation systems are based on the principle that during certain periods the system operates as a natural ventilation system and during other periods as a mechanical ventilation system.*

The alternation can occur, e.g. with respect to the time of day or year, under specific outdoor climate conditions or in the case of occupancy of rooms imposing special loads and thus having specific ventilation demands.

Hybrid ventilation systems are characterized by their switching between ventilation principles with the purpose of optimizing the indoor climate and the energy consumption by utilizing the strengths of both systems. The characteristic feature of a building provided with hybrid ventilation is the integration of the building and the ventilation solutions into the design to ensure effective utilization of both natural and mechanical driving forces.

A hybrid ventilation system is capable of automatically regulating system components to achieve selected target values for the indoor climate.

Kommentar zum Begriff mixed-mode ventilation:

Um Missverständnisse zu vermeiden sei auch der Term ‘Mixed-mode ventilation’ erwähnt. In vielen Literaturquellen wird in Unterscheidung zum Begriff ‘Hybride Lüftung/hybrid ventilation’ der Term ‘Mixed-mode ventilation (MMV)’ verwendet, wenn es sich um eine Kombination handelt von natürlicher Lüftung mit einem mechanischen System, das nebst mechanischer Lüftung auch Kühlung (und ggf. auch Klimatisierung) umfasst (siehe z. B. [57]). Es gibt aber auch andere Literaturquellen, die nicht konsequent diese Unterscheidung machen und den Begriff ‘hybride Lüftung/hybrid ventilation’ auch für Systeme mit aktiver (maschineller) Kühlung verwenden, oder die beiden Terme parallel einsetzen (siehe z. B. [26]).



5.1.1 Schlussfolgerung

Tabelle 19 zeigt eine qualitative Einordnung der Definitionen nach Anzahl der darin vorkommenden Begriffe. Diese Vorgehensweise ist einerseits etwas unscharf, da z. B. «Lüftung über Fenster» und «natürliche Lüftung» eine ähnliche Bedeutung haben. Andererseits ist so zumindest ein qualitativer Überblick möglich, wie umfassend die Definitionen sind. Zwei Quellen verwenden eine sehr eng gefasste Definition für hybride Lüftung, die auf zwei Kriterien basiert. Drei Quellen stützen sich auf eine etwas breitere Definition mit drei Kriterien. Drei Quellen verwenden zur Definition vier oder sechs Kriterien. Für die Bearbeitung des Projektes scheint keine der gegebenen Definitionen genügend präzise, um das ganze Spektrum von hybriden Lüftungen in der Schweiz abzudecken und abzugrenzen. Daher wird eine eigene Definition erarbeitet und vorgestellt.

Tabelle 19: Qualitative Einordnung der vorhandenen Definitionen zur hybriden Lüftung. Verwendete Abkürzungen: L = Lüftung, NL = Natürliche Lüftung, ML = mechanische Lüftung

	In der Definition von hybrider Lüftung genannte Begriffe/Kriterien						
	Natürliche Antriebe	Lüftung über Fenster	NL	Schacht-lüftung	ML	Steuerung / Regelung	Zeitliche Trennung Systeme
Arbeitskreis Lüftung, D [89]							
ÖNORM H 6039							
SN EN 12792:2003							
SIA 382/5:2021							
DIN 1946-6: 2019							
prEN 15665: 2022-09-30							
CEN TS WI 00156243							
IEA-EBC Annex 35 [39], [88]							

5.2 Hybride Lüftung: Definitionsvorschlag für Projekt

Hybride Lüftung

Lüftung, die auf natürliche und mechanische Be- und Entlüftung in der gleichen Nutzungseinheit angewiesen ist und in Abhängigkeit von der gegebenen Situation betrieben wird (mit entweder natürlichen oder mechanischen Antriebskräften bzw. einer Kombination dieser Antriebskräfte). Für die Funktion des Systems sind daher Elemente zur Sicherstellung von natürlicher Lüftung (wie z. B. Fenster, Aussenbauteil-Luftdurchlass) wie auch der mechanischen Lüftung (z. B. Ventilatoren) erforderlich.

Dabei wird die Art der Kombination in Anlehnung an die Typisierung aus prEN 15665:2022-09-30 [11] erweitert und wie folgt unterteilt:



- *alternativ natürliche / mechanische Lüftung:*
 - *Kriterium zeitlich definiert (Tag / Nacht; Sommer / Winter)*
 - *Kriterium örtlich definiert (Raumnutzung)*
- *Basissystem natürliche Lüftung; unterstützende mechanische Lüftung:*
 - *Kriterium Lüftungsstufe (z. B. nur Lüftung zum Feuchteschutz durch natürliche Lüftung abgedeckt)*
 - *Kriterium Aussenbedingungen (z. B. wenn natürliche Antriebskräfte zu gering)*
- *Basissystem mechanische Lüftung; unterstützende natürliche Lüftung:*
 - *Kriterium Lüftungsstufe (z. B. Querlüftung als Intensivlüftung)*
 - *Kriterium Aussenbedingungen (z. B. Nachtlüftung)*

Grundsätzlich kann eine hybride Lüftung auch aus einer Kombination dieser Typen bestehen⁵ und kann gemeinsam genutzte Komponenten beinhalten⁶. In diesen Fällen ist für die Auslegung das Teilsystem massgebend, welches die höheren Anforderungen an die Komponenten hat.

Natürliche Lüftung (freie Lüftung⁷)

Lüftung mit Förderung der Luft durch Druckunterschiede infolge von Wind oder Dichtedifferenzen der Luft zwischen aussen und innen, z. B. Fensterlüftung, Schachtlüftung, Dachaufsatzlüftung und Lüftung durch sonstige Öffnungen (z. B. Aussenbauteil-Luftdurchlässe, RWA Klappen).

Mechanische Lüftung (ventilatorgestützte Lüftung⁷)

Lüftung mit ventilatorgestützter Förderung der Luft, z. B. einfache Lüftungsanlage, Abluftanlagen, RWA (Ventilator), aktive Überströmer oder sonstige Systeme mit Ventilatoren.

Basissystem

Als Basissystem wird der Teil der hybriden Lüftung bezeichnet, welcher im Normalbetrieb der Lüftung (Nennbetrieb) den überwiegenden Teil der Lüftung erbringt. Diese Einordnung kann sich z. B. an einen häufig vorkommenden Betriebsfall (Betriebszeit, Aussenbedingungen etc.) anlehnen. Für diesen Fall ist das Basissystem auszulegen. In der Planung wird das Basissystem typischerweise zuerst ausgelegt. Im Fall der alternativen mechanischen / natürlichen Lüftung ist das jeweils aktive System das Basissystem⁸.

Abgrenzung: Im Projekt nicht berücksichtigt werden Konzepte mit aktiver (maschineller) Kühlung.

5.3 Einordnung der Hybridlüftungssysteme

Basierend auf dem Definitionsvorschlag zu den Hybridlüftungssystemen in Kapitel 5.2 wird nachfolgend eine Systematik vorgeschlagen, um die Systeme zu charakterisieren. Um eine Einordnung für die Planung vorzunehmen, muss die Aufgabe festgelegt werden, welche die beiden Teilsysteme (natürliche Lüftung und mechanische Lüftung) übernehmen. Dabei macht es Sinn festzulegen, welches der beiden Teilsysteme als Basissystem betrachtet werden soll.

⁵ z. B. Anlage mit mechanischer Lüftung als Basis und Intensivlüftung sowie Nachtlüftung mittels natürlicher Lüftung.

⁶ z. B. Anlage mit Aussenbauteilluftdurchlässen oder Luftleitungen die sowohl für den natürlichen wie auch den mechanischen Teil der Lüftung verwendet werden.

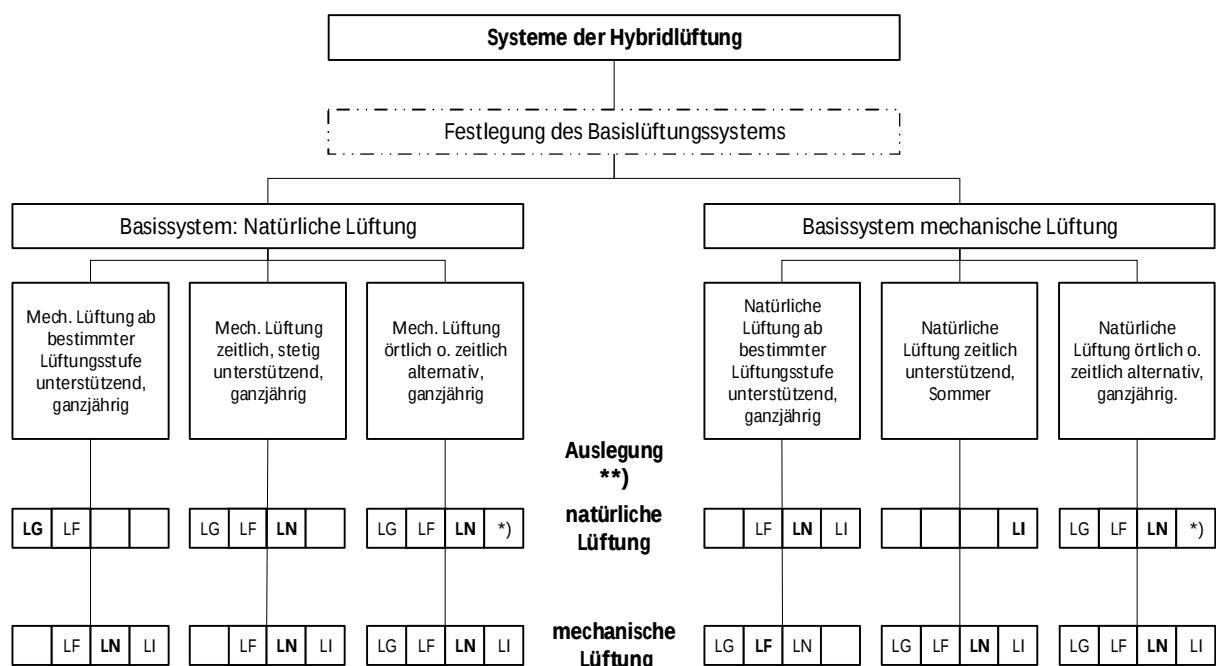
⁷ SN EN 12792:2003, SN EN 15242:2007, SN EN 15251:2007 [7], SN EN 13465:2004 [4], SN EN 14134:2019 wie auch DIN 1946-6 verwenden die Begriffe «freie Lüftung» und «ventilatorgestützte Lüftung» und nicht «natürliche Lüftung» bzw. «mechanische Lüftung»

⁸ Bei Konzepten, die in kurzen Zeitabständen alternieren ist u.U. eine gemeinsame, dynamische Betrachtung nötig.



Darauf aufbauend kann die Aufgabe des unterstützend wirkenden Systems festgelegt werden. Als «unterstützend» kann dabei eine zeitweise Unterstützung (z. B. aussenklimaabhängig, saisonal, oder auch bei erhöhten Lüftungsanforderungen) aber auch eine örtliche Unterstützung (z. B. für gewisse Räume oder Gebäudebereiche) verstanden werden. Sind mehrere Funktionen zutreffend (z. B. Intensivlüftung und Nachlüftung) sind beide zu bewerten und die kritischere Situation ist für die Planung massgebend. In Abbildung 5 ist der Vorschlag für die Charakterisierung von Hybridlüftungssystemen für die Planung dargestellt.

Mit diesen Festlegungen kann dann für jedes Teilsystem eine Anforderung an die Auslegung definiert werden, welche als Basis für die Dimensionierung der jeweiligen Bauteile dient.



Legende:

LG = Lüftung im Grundbetrieb

LF = Lüftung zum Feuchteschutz

LN = Lüftung im Normalbetrieb (z. B. Nennlüftung)

LI = Lüftung im Intensivbetrieb

*) eine Intensivlüftung ist grundsätzlich in allen Bereichen mit unterstützender Fensterlüftung erreichbar (Stosslüftung)

**) mögliche typische Auslegung (könnte im Einzelfall jedoch auch abweichend festgelegt sein);
Für die fett gekennzeichnete Lüftungsstufe wird das System in diesem Fall ausgelegt

Abbildung 5: Charakterisierung von Hybridlüftungssystemen für die Planung (diese Abbildung ist mit Abbildung 1 identisch)

Wenn als Basissystem die natürliche Lüftung angesehen wird, sollte insbesondere beim Fall der ganzjährig unterstützenden Wirkung der mechanischen Lüftung unterschieden werden, ob die natürliche Lüftung zu gewissen Zeiten die Nennlüftung übernehmen kann (muss), oder ob die natürliche Lüftung nur für tiefe Lüftungsstufen (Grundlüftung bzw. Feuchteschutz) ausgelegt wird und bei höherem Bedarf (z. B. Anwesenheit der Bewohner:innen) automatisch die mechanische Lüftung zum Einsatz kommt.

Wenn als Basissystem die mechanische Lüftung angesehen wird, sollte unterschieden werden, ob der Hauptzweck der natürlichen Lüftung vor allem eine Unterstützung bei der Intensivlüftung ist (z. B. bei



der Nachtauskühlung bzw. bei hoher Belegung), oder ob die Auslegung der mechanischen Lüftung tiefer als die Nennlüftung angesetzt wird und die natürliche Lüftung bereits im Normalbetrieb einen zwingenden Anteil der Luftmenge erbringen muss.

Grundsätzlich eher einfacher zu bewerten sind Konzepte mit örtlich oder zeitlich alternativen Systemen, da hier jeweils jeder Raumbereich einem Systemtyp zugeordnet werden kann.

In Tabelle 20 wird die Einordnung der Hybridlüftungssysteme entsprechend dem Vorschlag zur Charakterisierung aus Abbildung 5 beispielhaft für typische Lüftungskonzepte aufgezeigt. Die dazu betrachteten Konzepte sind in Kapitel 5.4 detaillierter beschrieben.

Tabelle 20: Beispiele für die Einordnung der Hybridlüftungssysteme anhand typischer Lüftungskonzepte

Bezeichnung	Konzept s. Kap.	Hauptzweck der mech. Lüftung	Hauptzweck der natürlichen Lüftung	Typische Festlegung für Basissystem
Wohnen: Manuelle Fensterlüftung mit bedarfsgesteuerter Abluftanlage in Bad/WC	5.4.3	Feuchteabfuhr im Bad	überwiegend Lüftung im Normalbetrieb	natürliche Lüftung
Wohnen: Mech. Lüftung mit ergänzender natürlicher Lüftung für Intensiv- oder (saisonalen) Alternativbetrieb	5.4.4	Lüftung im Normalbetrieb	Nachtlüftung im Sommer und bei Intensiver Belegung	mechanische Lüftung
Wohnen: Mischsystem mit parallelem Betrieb von mech. und nat. Lüftung	5.4.5	Lüftung einzelner Räume / Raumgruppen; Feuchteabfuhr	Teilweise Lüftung im Normalbetrieb	je nach Raum / Raumgruppen unterschiedlich festzulegen
Wohnen: Mechanische Grundlüftung mit freier Verteilung	5.4.6	Hygienischer Luftwechsel	Ergänzung in gewissen Situationen	mechanische Lüftung
Wohnen: Natürliche Lüftung mit Fenstern und ALD, unterstützende Abluftanlage	5.4.7	Ergänzung bei Bedarf	Grund-LW und z.T. Normalbetrieb	natürliche Lüftung
Büro: Mechanische Lüftung mit unterstützender Nachtlüftung im Sommer durch natürliche Lüftung	5.4.9	Lüftung im Normalbetrieb	Ergänzung in gewissen Situationen (Sommer)	mechanische Lüftung
Büro: Verbundlüftung mit aktiven Überströmern, natürliche Lüftung des Verbundbereichs	5.4.10	Unterstützung bei der Luftverteilung	Lüftung im Normalbetrieb (erf. Luftqualität)	natürliche Lüftung
Abluft mit natürlicher Schachtlüftung und Ventilatorunterstützung	5.4.11	Ergänzung bei Bedarf	Grund-LW und z.T. Normalbetrieb	natürliche Lüftung



Basierend auf den in der Literaturrecherche identifizierten Demonstrationsprojekten (siehe Kapitel 2) werden die Objekte gemäss der Systematik eingeordnet. In Tabelle 21 sind die untersuchten Wohnbauten zusammengefasst. Aus der Zusammenstellung ist ersichtlich, dass bei den Wohnbauten bis auf zwei Objekte (W4, W9) bei allen die mechanische Lüftung als Basissystem zugeordnet wurde. Bei zwei Objekten (W1, W8) könnte u.U. auch eine andere Zuordnung erfolgen (abhängig von der Auslegung). Nur für das Objekt W1 war eine klare Grenze definiert, unter der die mechanische Lüftung ganz ausgeschaltet wird (natürliche Lüftung ausreichend für Nennlüftung). Die meisten Objekte könnten vom Lüftungskonzept grundsätzlich den einfachen Abluftanlagen zugeordnet werden. Eine klar andere Funktionsweise ist nur im Objekt W5 und W6 vorhanden.

Tabelle 21: Einordnung der Hybridlüftungssysteme für Wohnbauten aus den Demonstrationsprojekten

ID [Quelle]	Bezeichnung	Land	Zweck der mech. Lüftung	Zweck der natürlichen Lüftung	Basissystem
W1 [63]	MFH Genf	CH	Unterstützung bei zu geringem freiem Antrieb	Lüftung der Räume	mechanische Lüftung *)
W2 [34]	MFH BB (FENLEG)	CH	Lüftung im Normalbetrieb	Intensivlüftung (manuelle Fensterlüftung)	mechanische Lüftung
W3 [34]	MFH ZH_3, DT_3, ZH_5 (FENLEG)	CH	Lüftung im Normalbetrieb	Intensivlüftung (manuelle Fensterlüftung)	mechanische Lüftung
W3 [28]	MFH mit ALD Linthal, Malters (ABLEG)	CH	Lüftung im Normalbetrieb	Intensivlüftung (manuelle Fensterlüftung)	mechanische Lüftung
W4 [32]	MFH mit Fensterbeschlägen (WS Furttal)	CH	Lüftung der Nasszellen	Lüftung der Räume	natürliche Lüftung
W5 [35]	MFH Zürich, KWL vereinfacht	CH	Lüftung im Normalbetrieb	Lüftung bei geschlossenen Zimmertüren	mechanische Lüftung
W6 [29]	MFH Objekt 2, Objekt 3	CH	Lüftung eines Raumes	Lüftung der übrigen Räume	je nach Raum
W7 [73] [74]	MFH Rintheimer Feld, R2.E2	D	Grundlüftung für Feuchteschutz	Lüftung der Räume	mechanische Lüftung **)
W8 [75]	HR-VENT Nangis (mehrere MFH)	F	Lüftung im Normalbetrieb	Unterstützung der mech. Lüftung	mechanische Lüftung *)
W9 [78], ***)	Demohaus Brno (EFH)	CZ	unterstützende mechanische Lüftung	Lüftung der Räume	natürliche Lüftung

*) Objekte mit vergleichbarem System, Festlegung des Hauptsystems könnte je nach Dimensionierung auch anders gewählt werden

**) Da Auslegung der mechanischen Lüftung auf Grundlüftung wird hier dieses System als Hauptsystem angesehen.

***) Zusätzlich ist ein vertraulicher Bericht vorhanden der im Rahmen des RESHYVENT Projektes erarbeitet wurde.

Im Objekt W5 wird die natürliche Lüftung primär zur passiven Luftverteilung innerhalb der Wohnung verwendet (Grundkonzept ist eine klassische mechanische Lüftung mit Zu und Abluft). In Objekt W6 ist die mechanische Lüftung nur für einzelne Räume vorhanden, mit deren Hilfe ein Feuchteproblem in der sonst nur über Fenster gelüfteten Wohnung gelöst werden sollte.

Das Objekt W4 stellt ein oft in bestehenden Wohnbauten vorgefundenen Konzept dar, das in diesem Objekt aber mit einer Spezialität (Fensterbeschläge) umgesetzt wurde. Das Konzept basiert primär auf der Lüftung über die Fenster. Nur die Nassräume und die Kochstellenabluft werden bei Bedarf (Ansteuerung über Licht bzw. Dunstabzugshaube) mechanisch entlüftet. Speziell bei diesem Objekt



ist, dass das Fenster neben der klassischen Fensteröffnung auch eine Stellung mit Spaltlüftung erlaubt (Dichtung angehoben, Einbruchschutz bleibt gewährleistet).

In Tabelle 22 sind die untersuchten Bürogebäude zusammengefasst. Aus der Zusammenstellung ist ersichtlich, dass bei den Bürogebäuden in vielen Objekten die Hauptaufgabe der natürlichen Lüftung in der Nachtlüftung im Sommer besteht. Bis auf ein Gebäude mit räumlich zu unterscheidendem Hauptsystem (B4) und einem System mit nur unterstützender mechanischer Lüftung (B7), wurde bei allen anderen Objekten die mechanische Lüftung als Basissystem zugeordnet.

Tabelle 22: Einordnung der Hybridlüftungssysteme für Bürogebäude aus den Demonstrationsprojekten

ID [Quelle]	Bezeichnung	Land	Zweck der mech. Lüftung	Zweck der natürlichen Lüftung	Basissystem
B1 [90]	Forum Chriesbach	CH	Lüftung im Normalbetrieb	Nachtlüftung im Sommer	mechanische Lüftung
B2 [67]	Bürohaus Lamparter	D	Lüftung im Normalbetrieb	Nachtlüftung im Sommer	mechanische Lüftung
B3 [68]	Wagner (Verwaltung)	D	Lüftung im Normalbetrieb	Nachtlüftung im Sommer	mechanische Lüftung
B4 [69]	DB Netz (Verwaltung)	D	Lüftung der innenliegenden Räume	Lüftung Räume an Fassade	je nach Gebäudeteil *)
B5 [70] [71]	UBA Dessau	D	Lüftung im Normalbetrieb	In Übergangszeit Lüftung der Räume an Fassade und angrenzend Atrium	mechanische Lüftung
B6 [72]	Energieforum Berlin	D	Lüftung im Normalbetrieb im Winter	In Übergangszeit und Sommer Lüftung der Räume, Nachtlüftung	mechanische Lüftung **)
B7 [76]	Büro Bang&Olufsen	DK	Unterstützung bei zu geringem freiem Antrieb (inkl. Nachtauskühlung im Sommer)	Lüftung der Räume; + manuelle Nachtlüftung	natürliche Lüftung
B8 [88]	PROBE	B	Lüftung im Normalbetrieb	Nachtlüftung im Sommer	mechanische Lüftung

*) Durch örtlich abgegrenzte Bereiche ist in den jeweiligen Nutzungsbereichen ein anderes Hauptlüftungssystem anzuwenden

**) Da im Winter die Lüftung nur mechanisch erfolgt wird dieses System als Hauptsystem gewertet (diskutabel)

In zwei Objekten (B5, B6) waren saisonale Zeitbereiche definiert, innerhalb deren mechanische Lüftung nicht betrieben wird und die Nennlüftung nur über die natürliche Lüftung erbracht wird. In einem Objekt (B7) ist die natürliche Lüftung so dimensioniert, dass sie einen wesentlichen Anteil der Nennlüftung übernehmen kann. Die mechanische Lüftung ist hier nur unterstützend wirksam. Daher wird bei diesem Objekt die natürliche Lüftung als Basissystem angesehen. Speziell bei diesem Objekt ist auch, dass die verwendeten Aussenbauteil-Luftdurchlässen über ein Heizregister verfügen, um im Winter Behaglichkeitsproblemen vorzubeugen.

Auffallend ist, dass von den acht untersuchten Bürogebäuden die Hälfte über ein Atrium verfügt. Diese Raumzone wird dabei meist in die Nachtlüftung im Sommer eingebunden. In einigen Objekten wird sie zusätzlich für den Luftaustausch der Büroräume (z. B. B5) eingesetzt. Fünf der acht untersuchten



Bürogebäude verfügen zudem über ein Erdregister, mit dem eine gewisse Vorkonditionierung der Aussenluft erreicht wird. Die Häufung von Atrien und Erdregistern spiegeln die Zeit zwischen 2000 und 2010 wider, in der die meisten der genannten Gebäude aus Deutschland errichtet wurden. Dazu kommt, dass «komplex geplante» Gebäude eher im Rahmen von Forschungsprojekten untersucht werden als einfache Lösungen, bei denen kein Forschungsbedarf vermutet wird.

5.4 Systeme von hybriden Lüftungen

5.4.1 Hintergrund und Einleitung

In den nachfolgenden Unterkapiteln werden exemplarisch hybride Lüftungssysteme beschrieben.

- 5.4.3 Wohnen: Manuelle Fensterlüftung mit bedarfsgesteuerter Abluftanlage in Bad/WC
- 5.4.4 Wohnen: Mechanische Lüftung mit ergänzender natürlicher Lüftung für Intensiv- oder (saisonalen) Alternativbetrieb
- 5.4.5 Wohnen: Mischsystem mit parallelem Betrieb von mechanischer und natürlicher Lüftung
- 5.4.6 Wohnen: Mechanische Grundlüftung mit freier Verteilung
- 5.4.7 Wohnen: Natürliche Lüftung mit Fenstern und ALD, sowie unterstützende Abluftanlage
- 5.4.8 Büro allgemein
- 5.4.9 Büro: Mechanische Lüftung mit unterstützender Nachtlüftung im Sommer durch natürliche Lüftung
- 5.4.10 Büro: Verbundlüftung mit aktiven Überströmern, natürliche Lüftung des Verbundbereichs
- 5.4.11 Abluft mit natürlicher Schachtlüftung und Ventilatorunterstützung

Es sind hunderte von weiteren Kombinationen von natürlicher und mechanischer Lüftung möglich. Einige Systeme sind aber dennoch weit verbreitet, insbesondere die Systeme, die in Kapitel 5.4.3 und Kapitel 5.4.4 beschrieben sind.

Einsatzgrenzen für hybride Lüftungssysteme:

- Die Nutzungseinheit (z. B. MFH) ist nur nach einer Gebäudeseite orientiert. Damit ist die Wirksamkeit der NL eingeschränkt.
- Es gibt zwar Nachströmöffnungen (ALD), diese sind aber für zu geringe Luftmengen ausgelegt. In [86] werden die folgenden Werte angegeben, ab der eine Querlüftung (NL) und eine ML möglich sind: Luftdurchlässigkeit der Gebäudehülle als Luftwechsel n_{50} bei $\Delta p = 50$ Pa und bei geöffneten Nachströmöffnungen: $3 \text{ h}^{-1} < n_{50} \leq 4.5 \text{ h}^{-1}$ [86].
- Gas für Speisenzubereitung
Anmerkung: in Deutschland darf in Küchen mit Gasherd ab 11 kW, bzw. mehr als vier Flammen nicht nur über die Fenster gelüftet werden [86]. In der Schweiz ist derzeit keine solche Regel bekannt (ein Unterdruck durch lufttechnische Anlagen ist zu vermeiden [91]).
- Sehr hohe Belegungsdichte (hygienischer Luftwechsel nur über NL schwierig zu erreichen)
- Wäschetrocknen in der Nutzungseinheit (z. B. MFH, Abfuhr hohe Feuchtelasten ist nutzerunabhängig gewährleisten)
- Bei Variante 4.4.4 Wohnen: Mechanische Lüftung mit ergänzender natürlicher Lüftung für Intensiv- oder (saisonalen) Alternativbetrieb: Einfache Abluftanlagen sind bei geschlossenen



Zimmertüren nicht für einen Parallelbetrieb geeignet. Ein Alternativbetrieb ist jedoch möglich. Siehe auch Kapitel 5.4.4.

5.4.2 Allgemeiner Ansatz der Darstellung

- Durch grosse Öffnungen (offene Türen, Fenster) findet ein hoher bidirektionaler Luftaustausch zwischen den angrenzenden Räumen (innen und/oder aussen) statt. Der Antriebsdruck für diese bidirektionale Luftströmung resultiert aus der Temperaturdifferenz der beiden Räume.
- Durch kleine unidirektionale Öffnungen (Luftdurchlässe, Leckagen) strömt Luft in einer begrenzten Menge nur in eine Richtung. Der Antriebsdruck für diese Luftströmung wird von Ventilatoren bewerkstelligt und bei einer natürlichen Lüftung durch Wind und/oder Temperaturdifferenzen.
- Es wird angenommen, dass sich die Luft in einem Raum in guter Näherung homogen mischt. Das heisst, dass im ganzen Raum die gleiche Raumluftqualität und Stoffbelastung (CO_2 , H_2O) vorhanden ist.

Abbildung 6 illustriert mögliche Anordnungen von Öffnungen in einer Wohnung. Jeder gerade Pfeil steht an der Stelle einer möglichen Öffnung. Bei Pfeilpaaren kann es sich entweder um eine grosse Öffnung oder zwei kleine handeln. Im Lüftungskonzept werden die für den geplanten Luftaustausch erforderlichen Öffnungen, sowie die Richtungen der Luftströme festgelegt. Es kann aber auch definiert werden, wo bewusst keine Luftströmung stattfinden soll.

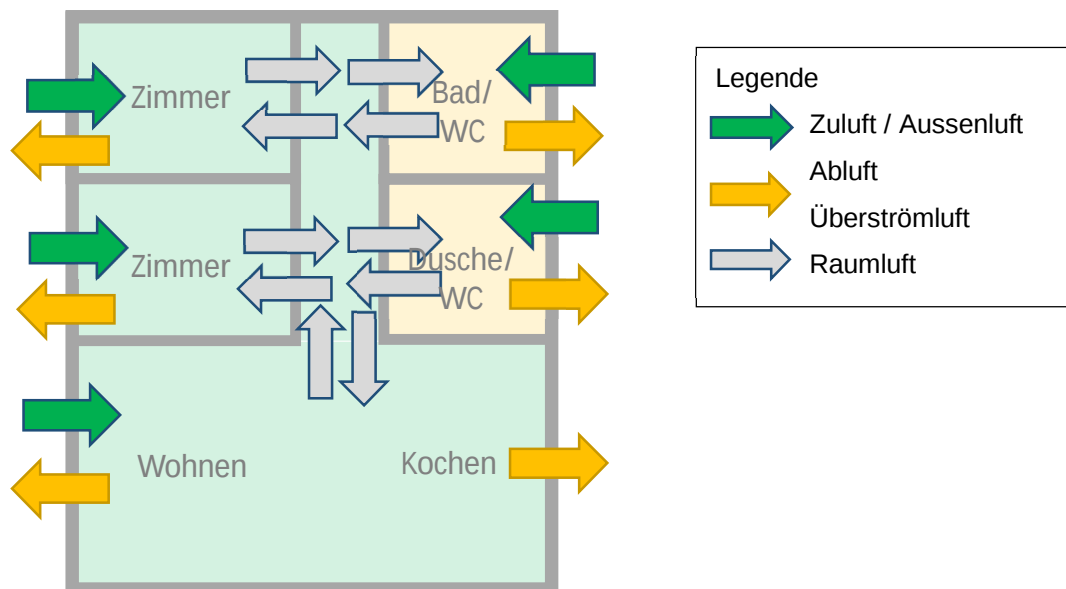


Abbildung 6: Mögliche Positionen von unidirektionalen und bidirektionalen Öffnungen (Schematischer Grundriss)



Bei der Beschreibung der Systeme wird folgende Legende verwendet:

Tabelle 23: Verwendete Symbole für die Darstellung der Systeme

	Fenster mit Drehflügel oder Tür
	Fenster mit Kippflügel oder fixierbarer Drehflügel mit kleinem Öffnungsspalt (im Bereich von einigen wenigen Zentimetern); oder Tür mit fixierbarer Stellung mit kleinem Öffnungsspalt
 	Aussenbauteil-Luftdurchlass (ALD) oder Überström-Luftdurchlass (ÜSDL) Die Strömungsrichtung ergibt sich durch die Druckverhältnisse. Unterschieden wird - in der Projektierung unbekannte Strömungsrichtung (oben), - in der Projektierung bekannte Strömungsrichtung (unten). (Pfeilfarbe und Schraffierung s. unten)
 	Luftpfad für Infiltration, Exfiltration sowie Leckagen zwischen Nutzungseinheiten. Diese Luftpfade sind in der Regel nicht geplant und unerwünscht. Zudem ist die Positionen in der Planungsphase kaum bekannt. In den Abbildungen sind alle möglichen Leckagen zusammenfassend mit einem Symbol dargestellt. Die Strömungsrichtung durch die Leckagen ergibt sich durch die Druckverhältnisse. Unterschieden wird - in der Projektierung unbekannte Strömungsrichtung (oben), - in der Projektierung bekannte Strömungsrichtung (unten). (Pfeilfarbe und Schraffierung s. unten)
   	Luftstrom, gefördert durch natürlich erzeugte Druckdifferenz - Aussenluft (grün) - Abluft (gelb) - Überströmluft innerhalb der Nutzungseinheit (grau) - Leckageluft zwischen Nutzungseinheiten (violett)
   	Luftstrom, passiv gefördert durch mechanisch erzeugte Druckdifferenz zwischen Räumen resp. zwischen innen und aussen (kein Ventilator im Luftpfad) - Aussenluft (grün) - Abluft (gelb) - Überströmluft innerhalb der Nutzungseinheiten (grau) - Leckageluft zwischen Nutzungseinheiten (violett)
  	Luftstrom, aktiv gefördert durch mechanisch erzeugte Druckdifferenz mit Ventilator im Luftpfad - Aussenluft/Zuluft (grün) - Abluft (gelb) - Überströmluft innerhalb der Nutzungseinheit (grau)



5.4.3 Wohnen: Manuelle Fensterlüftung mit bedarfsgesteuerter Abluftanlage in Bad/WC

Allgemeine Beschreibung

Die Haupträume (Zimmer, Wohnbereich) werden natürlich belüftet. Bad/Du/WC werden mechanisch entlüftet. Die Ersatzluft strömt frei nach. Die Kochstelle wird mechanisch entlüftet.

Beispiel

Das Beispiel in Abbildung 7 zeigt eine Wohnung mit natürlicher Lüftung der Zimmer mit manuell betätigten Fenstern mit Drehflügeln. Diese können für einseitige Lüftung oder Querlüftung eingesetzt werden.

Bad/WC und Du/WC verfügen jeweils über einen bedarfsgesteuerten Abluftventilator. Die Ersatzluft strömt über einen ALD in den Überströmbereich der Wohnung nach. Von dort gelangt die Luft über Überströmluftdurchlässe (ÜSDL) in die Ablufträume. Die Abluftanlagen haben die Aufgabe Feuchte und Gerüche aus Bad/Du/WC abzuführen

Die Kochstelle wird mit einer Fortluft-Dunstabzugshaube entlüftet (Abbildung 8). Die Ersatzluft strömt über ein manuell betätigtes Kippfenster nach.

Die natürliche Lüftung und die mechanischen Lüftungen können alternativ oder parallel betrieben werden.

Bei dieser Variante könnte eine Abwärmenutzung in der Abluft durch eine Abluftwärmepumpe realisiert werden.

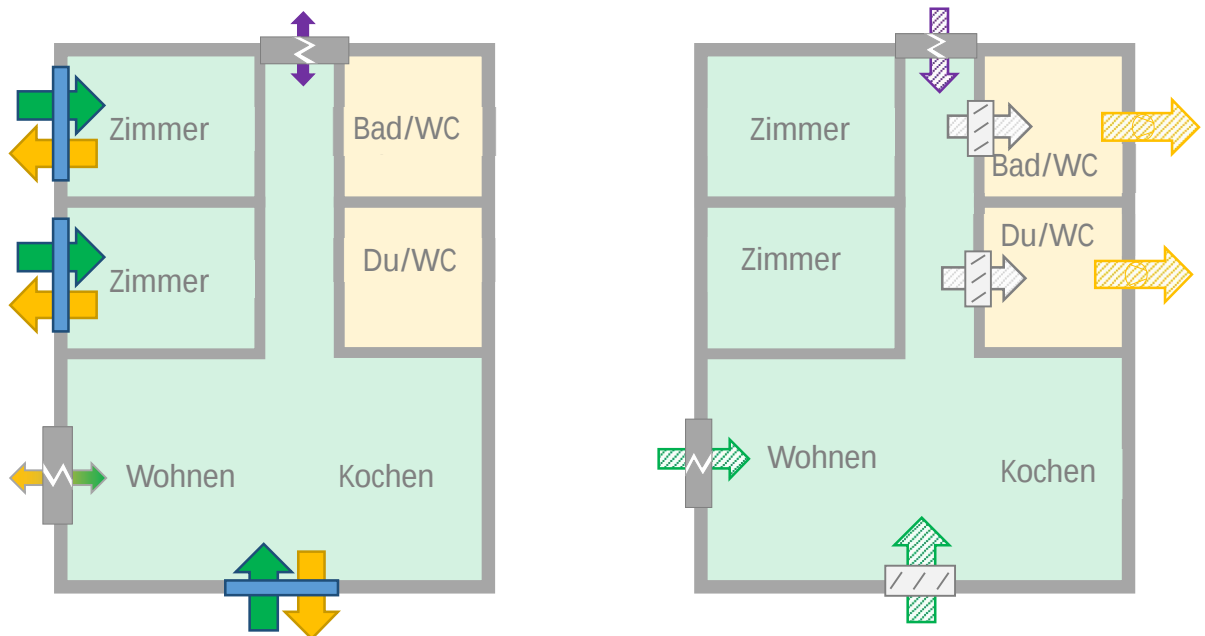


Abbildung 7: Beispiel einer Wohnung mit natürlicher Lüftung der Haupträume (links) und mechanischer Abluft in Bad/Du/WC (rechts)

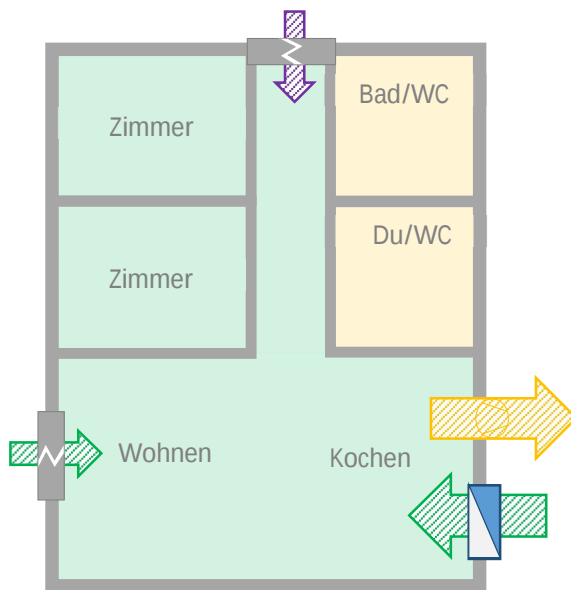


Abbildung 8: Beispiel einer Kochstellenabluft mit Fortlufthaube

Optionen und Varianten

Die Tabelle mit den Optionen und Varianten zeigen heute verbreitete Lösungen auf. Die Optionen und Varianten entsprechen nicht in allen Fällen den Anforderungen der Schweizer Normen.



Tabelle 24: Optionen und Varianten zu Wohnung mit natürlicher Lüftung der Haupträume, mechanische Abluft in Bad/Du/WC

Symbol	Thema	Beschreibung der Optionen und Varianten
	Lüftung der Zimmer	Die natürliche Lüftung der Zimmer kann erfolgen mit: Bei geschlossener Zimmertür - einseitige Stosslüftung eines einzelnen Zimmers (Drehflügel) - Kontinuierliche Lüftung über Kippstellung resp. begrenzte Öffnung ** Bei offener Zimmertür - intensive Querlüftung mit Drehflügel - kontinuierliche Querlüftung mit Kippstellung resp. begrenzter Öffnung ** - Verbundlüftung über Fenster in anderen Räumen
	Abluftanlage Bad/Du/WC	Die Abluftanlage von Bad/Du/WC kann erfolgen mit: - Einzelraumventilatoren - Einzelwohnungsanlage (Ventilatorbox pro Wohnung) - Mehrwohnungsanlage
	Nachströmung Ersatzluft Bad/Du/WC	Die Ersatzluft der Abluftanlage kann alternativ oder parallel erfolgen mit: - Aussenbauteilluftdurchlass (ALD) - Manuell geöffnetes Fenster - Fenster mit elektrischem Antrieb - Fenster mit mechanischem Schliessmechanismus (Zeitverzögerung) - Infiltration durch undefinierte Leckage in der Gebäudehülle * ALD können über folgende Funktionen verfügen: - Feste Einstellung (dauernd offen) ** - Manuelle Einstellung der Öffnungsstufe ** - Elektrischer Antrieb Auf/Zu - Selbsttätiger Antrieb mit Feuchtesensor ** - Selbsttätiger Antrieb mit Temperatursensor ** Der oder die ALD können positioniert sein - Ablufträume - Durchströmbereich - Zimmer***
	Überströmung Ersatzluft Bad/Du/WC	Die Überströmung der Ersatzluft in die Ablufträume kann erfolgen mit: - Überströmluftdurchlass (ÜSDL), z. B. Luftspalt unter der Tür, spez. Element in der Tür oder Wand - keine Massnahme, da ALD im Abluftraum - undefinierte Nachströmung **
	Kochstellen-lüftung	Die Entlüftung der Kochstelle kann erfolgen durch - Fortluft-Dunstabzugshaube - Umluft-Dunstabzugshaube - Fenster im Bereich der Kochstelle (nur bei Küche mit Tür gegenüber dem Durchströmbereich)
	Ersatzluft der Kochstellen-lüftung	Die Ersatzluft der Kochstellenlüftung kann alternativ oder parallel erfolgen durch - Manuell geöffnetes Fenster - ALD mit elektrischem Antrieb Auf/Zu - ALD mit Öffnung über Unterdruck ** - Fenster mit automatischem Antrieb - Mechanisch zugeführte Ersatzluft - Undefinierte Nachströmung *
	Infiltration und Exfiltration	Während der natürlichen Lüftung durch Temperaturdifferenzen und Wind bestimmt (nicht planbar). Bei Betrieb der Abluftanlagen (Bad/WC und Küchenabluft) Infiltration infolge Unterdrucks in der Wohnung.
Control Zimmer	Steuerung/Regelung Zimmer	Die Steuerung der Lüftung der Zimmer kann erfolgen durch - Nach Bedarf der Nutzenden - Überwachung durch Sensor (CO₂, Feuchte, TVOC), mit Signal



Symbol	Thema	Beschreibung der Optionen und Varianten
Control Abluft- räume	Steuerung/ Regelung Ablufträume	Die Steuerung/Regelung der Lüftung der Ablufträume kann erfolgen durch - Nach Bedarf der Nutzenden (manueller Lüftungsschalter) - Automatisch Ein/Aus mit Sensor (Feuchte, TVOC) - Nutzung des Abluftraums (Lichtschalter, Präsenzsensoren) - Zeitprogramm - Kombination der oben aufgeführten Möglichkeiten - Dauerbetrieb *** Bei einem Ein/Aus-Betrieb mit manueller Schaltung oder Bedarfssensor ist eine Nachlaufzeit üblich.
Control Kochstellen- lüftung	Steuerung/ Regelung Kochstellen- lüftung	Die Steuerung/Regelung der Kochstellenlüftung kann erfolgt in der Regel nach Bedarf der Nutzenden - Einstufig - Mehrstufig
Control Spezial	Spezielle Funktionen der Steuerung/ Regelung	Eine Steuerung/Regelung kann mit folgenden Funktionen ausgerüstet sein: - Unterdrucküberwachung, spez. bei einer Feuerstätte in der Wohnung - Verriegelung von Abluftventilatoren: Sperrung bei geschlossener Ersatzluftzufuhr
Legende * Die alleinige Luftführung über diesen Pfad entspricht nicht den Anforderungen der SIA 382/5:2021 [1]. ** Entspricht teilweise nicht den den Anforderungen der SIA 382/5:2021 [1] oder es ist unklar unter welchen Rahmenbedingungen die Anforderungen eingehalten werden. *** Wenn alle mit *** bezeichneten Optionen gleichzeitig vorhanden sind, fällt das System in eine andere Kategorie		

5.4.4 Wohnen: Mechanische Lüftung mit ergänzender natürlicher Lüftung für Intensiv- oder (saisonalen) Alternativbetrieb

Allgemeine Beschreibung

Die gesamte Wohnung wird mit einer mechanischen Lüftungsanlage ausgerüstet, die gemäss SIA 382/5:2021 [1] auf den Normallüftungsbetrieb ausgelegt ist.

Die Kochstelle wird separat mechanisch entlüftet.

Die natürliche Lüftung wird ergänzend oder alternativ zur mechanischen Lüftung eingesetzt um

- a) im Sinne eines Intensivbetriebs Raumluftbelastungen abzuführen, die höher sind als bei der Auslegung vorausgesetzt wurde, oder
- b) um hohe thermische Lasten abzuführen, insbesondere bei der sommerlichen Nachauskühlung oder
- c) um bei ausgeschalteter mechanischer Lüftung (z. B. im Sommer) die geforderte Raumluftqualität und den Feuchteschutz zu gewährleisten.

Beispiel

Das Beispiel in Abbildung 9 zeigt eine Wohnung mit einer einfachen Lüftungsanlage (mechanisch geförderte Zu- und Abluft) mit einer Luftführung im Kaskadenprinzip. Die mechanische Lüftung kann in der Wohnung manuell auf die Stufen Aus, Grundlüftungsbetrieb und Normlüftungsbetrieb eingestellt werden.

In allen Zimmern sind Fenster mit manuell öffnenbaren Drehflügeln vorhanden.

Bad/WC und Du/WC sind innenliegende Räume ohne Fenster.

Die Kochstelle wird mit einer Fortluft-Dunstabzugshaube entlüftet. Die Ersatzluft strömt über ein manuell betätigtes Kippfenster nach (vergleiche Kap. 5.4.4).

Das System ist für einen alternativen Betrieb von mechanischer und natürlicher Lüftung bestimmt. Die einfache Lüftungsanlage ist mit einer Wärmerückgewinnung ausgestattet.

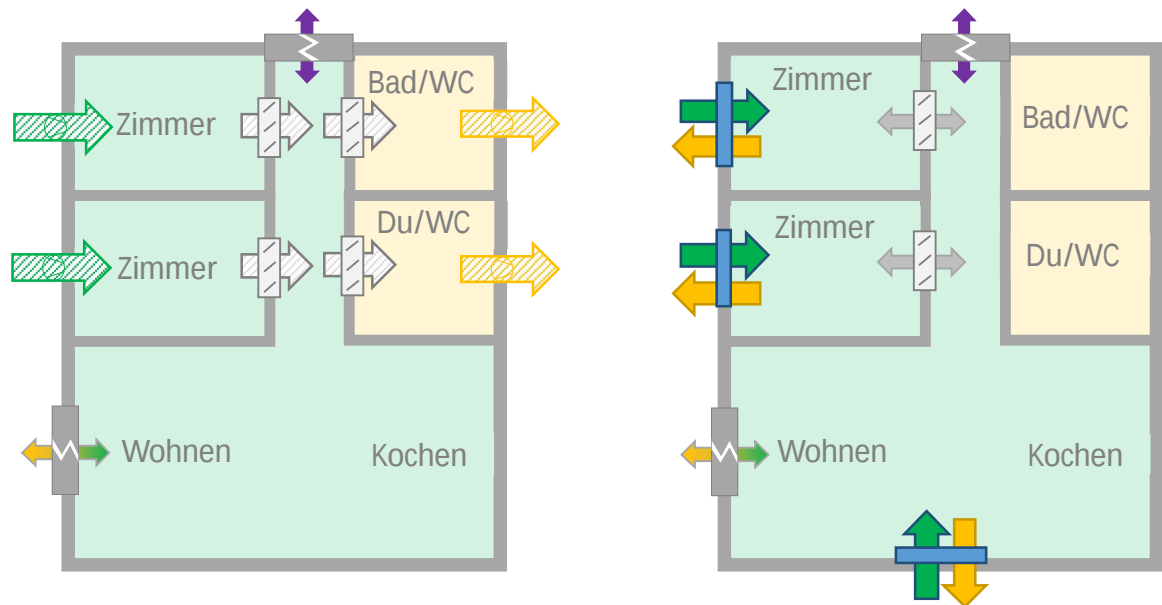


Abbildung 9: Beispiel einer Wohnung mit mechanischer Lüftung (links) mit ergänzender natürlicher Lüftung für Intensiv- oder Alternativbetrieb (rechts)

Optionen und Varianten

Die Tabelle mit den Optionen und Varianten zeigen heute verbreitete Lösungen auf. Die Lösungen entsprechen nicht in allen Fällen den Anforderungen der Schweizer Normen.

Tabelle 25: Optionen und Varianten zu Wohnen; Mechanische Lüftung mit ergänzender natürlicher Lüftung für Intensiv- oder (saisonalen) Alternativbetrieb

Symbol	Thema	Beschreibung der Optionen und Varianten
	Natürliche Lüftung der Zimmer	Die natürliche Lüftung der Zimmer kann erfolgen mit: Bei geschlossener Zimmertür - einseitige Stosslüftung eines einzelnen Zimmers (Drehflügel) - Kontinuierliche Lüftung über Kippstellung resp. begrenzte Öffnung ** Bei offener Zimmertür - intensive Querlüftung mit Drehflügel - kontinuierliche Querlüftung mit Kippstellung resp. begrenzter Öffnung ** - Verbundlüftung über Fenster in anderen Räumen
	Natürliche Bad/Du/WC	Falls die Ablufträume Fenster aufweisen, kann die natürliche Lüftung erfolgen durch: - einseitige Stosslüftung (Drehflügel) - Kontinuierliche Lüftung über Kippstellung resp. begrenzte Öffnung **
	Mechanische Lüftung der Zimmer	Die mechanische Lüftung der Zimmer kann erfolgen mit - Einfache Lüftungsanlage mit Kaskadenprinzip - Einfache Lüftungsanlage mit Verbundprinzip (aktive Überströmer) - Einfache Abluftanlage mit ALD in den Zimmern Bei allen Varianten kommt eine Einzelwohnungsanlage oder eine Mehrwohnungsanlage infrage.



Symbol	Thema	Beschreibung der Optionen und Varianten
	Mechanische Lüftung Bad/Du/WC	Die Lüftung von Bad/Du/WC kann erfolgen mit: - Einzelwohnungsanlage - Mehrwohnungsanlage bei beiden Varianten kann eine Abluft-Wärmepumpe vorhanden sein (bei einfachen Abluftanlagen ev. gefordert nach MuKE:2014 [22]). Wenn bei Stellung "Aus" oder "Abluftbetrieb" die Zuluftventilatoren ausgeschaltet sind, ist die Nachströmung der Ersatzluft zu definieren. Dies kann erfolgen mit: - Aussenbauteilluftdurchlass (ALD) - Manuell geöffnetes Fenster - Fenster mit elektrischem Antrieb - Fenster mit mechanischem Schliessmechanismus (Zeitverzögerung) - Infiltration durch undefinierte Leckage in der Gebäudehülle * ALD können über folgende Funktionen verfügen: - Feste Einstellung (dauernd offen) ** - Manuelle Einstellung der Öffnungsstufe ** - Elektrischer Antrieb Auf/Zu - Selbsttätiger Antrieb mit Feuchtesensor ** - Selbsttätiger Antrieb mit Temperatursensor ** Der oder die ALD können positioniert sein - Ablufträume - Durchströmbereich
	Überströmung	Die Überströmung der Luft von den Zimmern in den Durchströmbereich und vom Durchströmbereich in die Ablufträume kann erfolgen mit: - Überströmluftdurchlass (ÜSDL), z. B. Luftspalt unter der Tür, spez. Element in der Tür oder Wand - undefinierte Überströmung **
Control mech. Lüftung	Steuerung/ Regelung der mechanischen Lüftung	Die Steuerung/Regelung der mechanischen Lüftung kann erfolgen - Nach Bedarf der Nutzenden (Handschalter) - Zeitprogramm - Sensor im Durchströmbereich oder in der Abluft (CO₂, Feuchte, TVOC) - Sensoren Abluft (CO₂, Feuchte, TVOC) in allen oder ausgewählten Räumen - Kombination der oben aufgeführten Optionen - Dauerbetrieb Bei Ablufträumen ohne Fenster muss bei abschaltbarer mechanischer Lüftung der Abluftbetrieb (z. B. im Sommerbetrieb) definiert werden. Dies kann erfolgen durch: - Nach Bedarf der Nutzenden (manueller Lüftungsschalter in Bad/WC) - Automatisch Ein/Aus mit Sensor (Feuchte, TVOC) - Nutzung des Abluftraums (Lichtschalter, Präsenzsensoren) - Zeitprogramm - Kombination der oben aufgeführten Möglichkeiten - Dauerbetrieb Bei einem Ein/Aus-Betrieb mit manueller Schaltung oder Bedarfssensor ist eine Nachlaufzeit üblich.
Control Spezial	Spezielle Funktionen der Steuerung/ Regelung	Eine Steuerung/Regelung kann mit folgenden Funktionen ausgerüstet sein: - Unterdrucküberwachung, spez. bei einer Feuerstätte in der Wohnung - Verriegelung von Abluftventilatoren: Sperrung bei geschlossener Ersatzluftzufuhr
Legende * Die alleinige Luftführung über diesen Pfad entspricht nicht den Anforderungen der SIA 382/5:2021 [1]. ** Entspricht teilweise nicht den den Anforderungen der SIA 382/5:2021 [1] oder es ist unklar unter welchen Rahmenbedingungen die Anforderungen eingehalten werden.		



Einsatzgrenzen

Einfache Abluftanlagen sind bei geschlossenen Zimmertüren nicht für einen Parallelbetrieb geeignet. Grund: Bei geöffneten Fenstern reduziert sich der Unterdruck in der Wohnung und die Aussenluft strömt hauptsächlich über die offenen Fenster nach.

Bei Anlagen, die als Kombination von ML und NL konzeptioniert sind, müssen die resultierenden Luftströmungen in der Wohnung für alle Betriebsfälle beachtet werden. Dabei ist der verfügbare freie Querschnitt bei den Zimmertüren (Türöffnung) sehr wichtig für den Luftaustausch. Siehe dazu auch die Resultate in [35] zur passiven Verbundlüftung mit passiver Überströmung.

5.4.5 Wohnen: Mischsystem mit parallelem Betrieb von mechanischer und natürlicher Lüftung

Allgemeine Beschreibung

Teile der Hauptnutzfläche der Wohnung sind mit einer mechanischen Lüftungsanlage ausgerüstet, andere Teile werden natürlich belüftet.

In allen Zimmern sind Fenster mit manuell öffnenbaren Drehflügeln vorhanden.

Bad/WC und Du/WC sind innenliegende Räume ohne Fenster.

Die Kochstelle wird mit einer Fortluft-Dunstabzugshaube entlüftet. Die Ersatzluft strömt über ein manuell betätigtes Kippfenster nach.

Beispiel

Das Beispiel in Abbildung 10 zeigt eine Wohnung mit einem Einzelraumlüftungsgerät in einem Zimmer. Die übrigen Zimmer werden natürlich mit Fenstern belüftet.

In allen Zimmern sind Fenster mit manuell öffnenbaren Drehflügeln vorhanden.

Bad/WC und Du/WC sind innenliegende Räume ohne Fenster.

Die Kochstelle wird mit einer Fortluft-Dunstabzugshaube entlüftet. Die Ersatzluft strömt über ein manuell betätigtes Kippfenster nach (vergleiche Kap. 5.4.3).

Im Zimmer mit dem Einzelraumlüftungsgeräte ist vorgesehen, dass die mechanische und natürliche Lüftung alternativ betrieben werden. Die Abluftanlagen und die natürliche Lüftung in den übrigen Zimmern können alternativ oder parallel betrieben werden.

Das Einzelraumlüftungsgerät ist mit einer Wärmerückgewinnung ausgestattet.

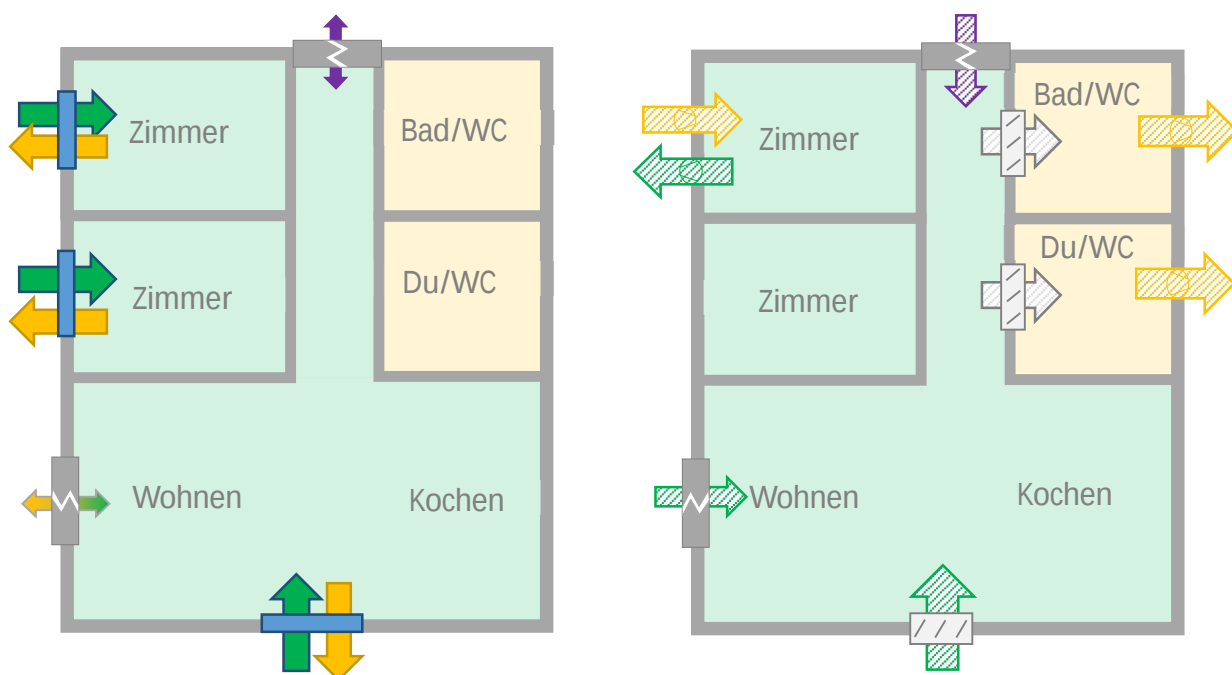


Abbildung 10: Beispiel einer Wohnung mit natürlicher Lüftung in den Zimmern (links), einem Einzelraumlüftungsgerät in einem Zimmer plus mechanischer Abluft in Bad/Du/WC (rechts)

Optionen und Varianten

Die Tabelle mit den Optionen und Varianten zeigen heute verbreitete Lösungen auf. Die Lösungen entsprechen nicht in allen Fällen den Anforderungen der Schweizer Normen.

Tabelle 26: Optionen und Varianten zu Wohnen; Mechanische Lüftung mit ergänzender natürlicher Lüftung für Intensiv- oder (saisonalen) Alternativbetrieb

Symbol	Thema	Beschreibung der Optionen und Varianten
	Natürliche Lüftung der Zimmer	Die natürliche Lüftung der Zimmer kann erfolgen mit: Bei geschlossener Zimmertür - einseitige Stosslüftung eines einzelnen Zimmers (Drehflügel) - Kontinuierliche Lüftung über Kippstellung resp. begrenzte Öffnung ** Bei offener Zimmertür - intensive Querlüftung mit Drehflügel - kontinuierliche Querlüftung mit Kippstellung resp. begrenzter Öffnung ** - Verbundlüftung über Fenster in anderen Räumen
	Natürliche Bad/Du/WC	Falls die Ablufträume Fenster aufweisen, kann die natürliche Lüftung erfolgen durch: - einseitige Stosslüftung (Drehflügel) - Kontinuierliche Lüftung über Kippstellung resp. begrenzte Öffnung **
	Mechanische Lüftung der Zimmer	Im Konzept des Beispiels kommt für die mechanische Lüftung der Zimmer praktisch nur Einzelraumlüftungsgeräte infrage. Grundsätzlich ist es auch möglich, mit einer einfachen Lüftungsanlage nur einzelne Zimmer und Ablufträume versorgen. Das in Abb. xx dargestellte Schema ist für aber nicht zutreffend.
	Mechanische Lüftung Bad/Du/WC	Die Abluftanlage von Bad/Du/WC kann erfolgen mit: - Einzelraumventilatoren - Einzelwohnungsanlage (Ventilatorbox pro Wohnung) - Mehrwohnungsanlage



Symbol	Thema	Beschreibung der Optionen und Varianten
	Überströmung	Die Überströmung Durchströmbereich in die Ablufträume kann erfolgen mit: - Überströmluftdurchlass (ÜSDL), z. B. Luftspalt unter der Tür, spez. Element in der Tür oder Wand - undefinierte Überströmung **
	Nachströmung Ersatzluft Bad/Du/WC	Die Ersatzluft der Abluftanlage kann erfolgen mit: - Aussenbauteilluftdurchlass (ALD) - Manuell geöffnetes Fenster - Fenster mit elektrischem Antrieb - Fenster mit mechanischem Schliessmechanismus (Zeitverzögerung) - Infiltration durch undefinierte Leckage in der Gebäudehülle * - Disbalance von Einzelraumlüftungsgeräten (ev. in Kombination mit einer der oben aufgeführten Varianten) ALD können über folgende Funktionen verfügen: - Feste Einstellung (dauernd offen) ** - Manuelle Einstellung der Öffnungsstufe ** - Elektrischer Antrieb Auf/Zu - Selbsttätiger Antrieb mit Feuchtesensor ** - Selbsttätiger Antrieb mit Temperatursensor ** Der oder die ALD können positioniert sein - Ablufträume - Durchströmbereich - Zimmer***
Control mech. Zimmer	Steuerung/ Regelung der mech. Lüftung Zimmer	Die Steuerung/Regelung der mechanischen Lüftung kann erfolgen - Nach Bedarf der Nutzenden (Handschalter) - Zeitprogramm - Sensor im Durchströmbereich oder in der Abluft (CO₂, Feuchte, TVOC) - Sensoren Abluft (CO₂, Feuchte, TVOC) in allen oder ausgewählten Räumen - Kombination der oben aufgeführten Optionen - Dauerbetrieb
Control Abluft- räume	Steuerung/ Regelung Ablufträume	Die Steuerung/Regelung der Lüftung der Ablufträume kann erfolgen durch - Nach Bedarf der Nutzenden (manueller Lüftungsschalter) - Automatisch Ein/Aus mit Sensor (Feuchte, TVOC) - Nutzung des Abluftraums (Lichtschalter, Präsenzsensoren) - Zeitprogramm - Kombination der oben aufgeführten Möglichkeiten - Dauerbetrieb *** Bei einem Ein/Aus-Betrieb mit manueller Schaltung oder Bedarfssensor ist eine Nachlaufzeit üblich.
Control Spezial	Spezielle Funktionen der Steuerung/ Regelung	Eine Steuerung/Regelung kann mit folgenden Funktionen ausgerüstet sein: - Unterdrucküberwachung, spez. bei einer Feuerstätte in der Wohnung - Verriegelung von Abluftventilatoren: Sperrung bei geschlossener Ersatzluftzufuhr
Legende * Die alleinige Luftführung über diesen Pfad entspricht nicht den Anforderungen der SIA 382/5:2021 [1]. ** Entspricht teilweise nicht den den Anforderungen der SIA 382/5:2021 [1] oder es ist unklar unter welchen Rahmenbedingungen die Anforderungen eingehalten werden. *** Wenn alle mit *** bezeichneten Optionen gleichzeitig vorhanden sind, fällt das System in eine andere Kategorie		

5.4.6 Wohnen: Mechanische Grundlüftung mit freier Verteilung

Allgemeine Beschreibung

In der Hauptnutzfläche wird Zuluft zugeführt. Dabei werden aber nicht alle Zimmer erschlossen, resp. in den erschlossenen Zimmern ist der Zuluftvolumenstrom kleiner ausgelegt als beim Nennlüftungsbetrieb gemäss SIA 382/5:2021 [1]. Der mechanisch geförderte Luftvolumenstrom der Wohnung ist aber so hoch, dass die angestrebte Raumluftqualität erreicht wird, wenn die Verbundlüfter (z. B. Zimmertüren) offen stehen.



In allen Zimmern sind Fenster mit manuell öffnbaren Drehflügeln vorhanden. Bei Bedarf nach geschlossenen Verbundlüftern kann über die Fenster natürlich gelüftet werden.
Bad/WC und Du/WC sind innenliegende Räume ohne Fenster.
Die Kochstelle wird mit einer Fortluft-Dunstabzugshaube entlüftet. Die Ersatzluft strömt über ein manuell betätigtes Kippfenster nach.

Beispiel

Das Beispiel in Abbildung 11 zeigt eine Wohnung mit einer einfachen Lüftungsanlage, bei der nur im Verbundbereich Zuluft zugeführt wird. Die Verteilung in die Zimmer erfolgt über eine natürliche Lüftung, die durch die Temperaturdifferenz zwischen den Räumen angetrieben wird.

In allen Zimmern sind Fenster mit manuell öffnbaren Drehflügeln vorhanden.

Bad/WC und Du/WC sind innenliegende Räume ohne Fenster.

Die Kochstelle wird mit einer Fortluft-Dunstabzugshaube entlüftet. Die Ersatzluft strömt über ein manuell betätigtes Kippfenster nach (vergleiche Kap. 5.4.3).

Bei Betrieb der mechanischen Lüftung sollen in den Zimmern alternativ die Fenster oder Zimmertüren geöffnet werden. Bei ausgeschalteter mechanischer Lüftung können alle Zimmer über Fenster belüftet werden (dito Abbildung 10 rechts).

Die einfache Lüftungsanlage ist mit einer Wärmerückgewinnung ausgestattet.

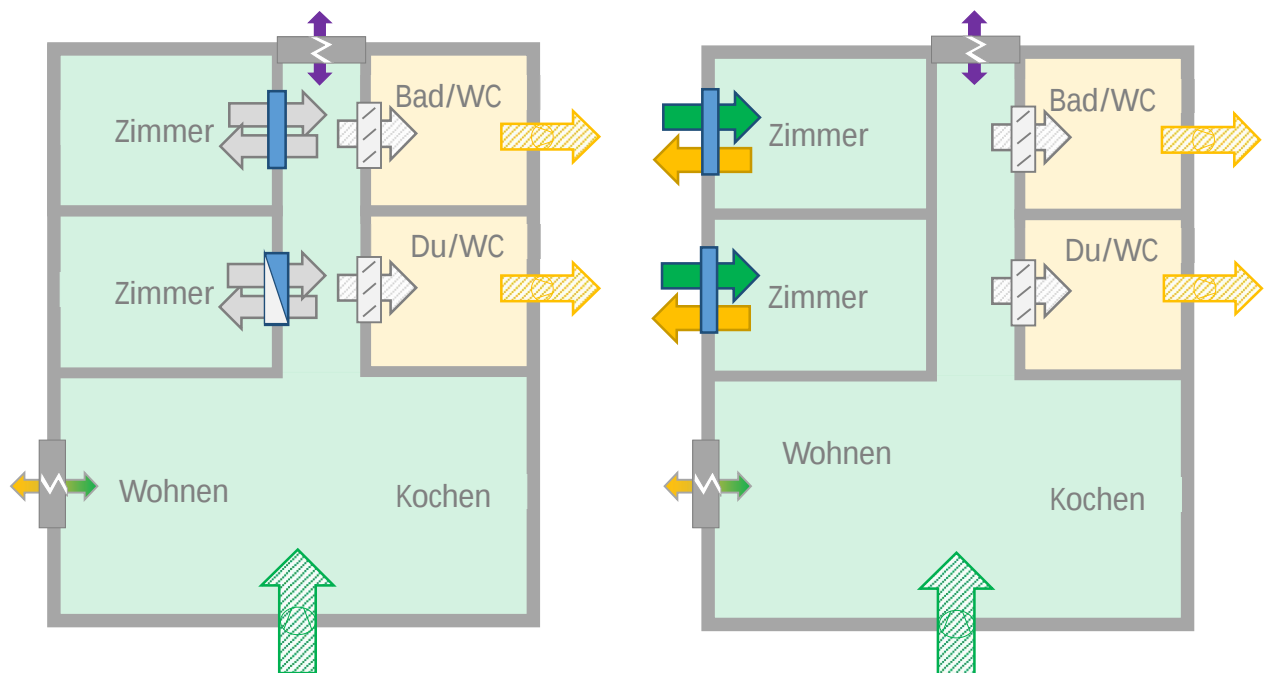


Abbildung 11: Beispiel einer Wohnung mit mechanischer Grundlüftung mit und einer Verteilung in der Wohnung mit natürlicher Lüftung über offene Zimmertüren (links), alternative Lüftung der Zimmer mit Fensterlüftung bei geschlossenen Zimmertüren (rechts).

Optionen und Varianten

Die Tabelle mit den Optionen und Varianten zeigen heute verbreitete Lösungen auf. Die Lösungen entsprechen nicht in allen Fällen den Anforderungen der Schweizer Normen.



Tabelle 27: Optionen und Varianten zu Wohnen; Grundlüftung mit freier Verteilung

Symbol	Thema	Beschreibung der Optionen und Varianten
	Natürliche Lüftung der Zimmer	Die natürliche Lüftung der Zimmer kann erfolgen mit: Bei geschlossener Zimmertür - einseitige Stosslüftung eines einzelnen Zimmers (Drehflügel) - Kontinuierliche Lüftung über Kippstellung resp. begrenzte Öffnung ** Bei offener Zimmertür - intensive Querlüftung mit Drehflügel - kontinuierliche Querlüftung mit Kippstellung resp. begrenzter Öffnung ** - Verbundlüftung über Fenster in anderen Räumen
	Natürliche Bad/Du/WC	Falls die Ablufträume Fenster aufweisen, kann die natürliche Lüftung erfolgen durch: - einseitige Stosslüftung (Drehflügel) - Kontinuierliche Lüftung über Kippstellung resp. begrenzte Öffnung **
	Mechanische Lüftung Verbundbereich	Die mechanische Lüftung des Verbundbereichs kann erfolgen mit - Einfache Lüftungsanlage - Einfache Abluftanlage mit ALD
	Mechanische Lüftung Bad/Du/WC	Die Lüftung von Bad/Du/WC kann erfolgen mit: - Einzelwohnungsanlage - Mehrwohnungsanlage bei beiden Varianten kann eine Abluft-Wärmepumpe vorhanden sein (bei einfachen Abluftanlagen ev. gefordert nach MuKE:2014 [22]).
	Überströmung	Die Überströmung vom Durchströmbereich in die Ablufträume kann erfolgen mit: - Überströmluftdurchlass (ÜSDL), z. B. Luftspalt unter der Tür, spez. Element in der Tür oder Wand - undefinierte Überströmung **
	Verbundlüftung Zimmer	Die natürliche Verbundlüftung der Zimmer kann erfolgen mit: - offenen stehenden Türen. - Türen, die nur teilweise offen stehen (ev. mit Fixierung) - Überströmluftdurchlässe die mit freier Strömung arbeiten (z. B. Öffnungen im oberen und unteren Raumbereich)
Control mech. Lüftung Zimmer	Steuerung/Regelung der mech. Lüftung Verbundbereich	Die Steuerung/Regelung der mechanischen Lüftung kann erfolgen - nach Bedarf der Nutzenden (Handschalter) - Zeitprogramm - Sensor im Durchströmbereich oder in der Abluft (CO ₂ , Feuchte, TVOC) - Kombination der oben aufgeführten Optionen - Dauerbetrieb
Control Ablufträume	Steuerung/Regelung Ablufträume	Die Steuerung/Regelung der Lüftung der Ablufträume kann erfolgen durch - nach Bedarf der Nutzenden (manueller Lüftungsschalter) - Automatisch Ein/Aus mit Sensor (Feuchte, TVOC) - Nutzung des Abluftraums (Lichtschalter, Präsenzsensoren) - Zeitprogramm - Kombination der oben aufgeführten Möglichkeiten - Dauerbetrieb Bei einem Ein/Aus-Betrieb mit manueller Schaltung oder Bedarfssensor ist eine Nachlaufzeit üblich.
Control Spezial	Spezielle Funktionen der Steuerung/Regelung	Eine Steuerung/Regelung kann mit folgenden Funktionen ausgerüstet sein: - Unterdrucküberwachung, spez. bei einer Feuerstätte in der Wohnung - Verriegelung von Abluftventilatoren: Sperrung bei geschlossener Ersatzluftzufuhr
Legende * Entspricht nicht den Anforderungen der SIA 382/5:2021 [1] ** Entspricht teilweise nicht den den Anforderungen der SIA 382/5:2021 [1] oder es ist unklar unter welchen Rahmenbedingungen die Anforderungen eingehalten werden.		



Variante reduzierter Zuluftstrom in den Zimmern:

Anstatt im Verbundbereich kann die Zuluft in den Zimmern zugeführt werden. Dabei ist der Zuluftvolumenstrom aber geringer als bei der Auslegung nach SIA 382/5:2021 [1] (z. B. nur 20 m³/h pro Zimmer). In diesem Fall ist die Überströmung in den Verbundbereich bei geschlossener Zimmertür zu definieren. Um in allen Zimmern die geforderte Raumluftqualität zu erreichen kann auch in diesem Fall von offenen oder teilweise offenen Zimmertüren ausgegangen werden. Beispielsweise könnte die Tür in einem Schlafzimmer für eine Person geschlossen sein und in einem Schlafzimmer mit zwei Personen geöffnet resp. teilweise geöffnet sein.

Variante Grundlüftung

Bei Minergie Modernisierungen wird seit 2019 die Variante «Grundlüftung» akzeptiert, dabei wird, wie bei der vorgängig beschriebenen Variante, der minimale Zuluftvolumenstrom auf 20m³/h pro Zimmer reduziert. Die Luft wird allerdings nicht in den Zimmern, sondern im Überströmbereich eingeführt. Zur Verteilung in die Zimmer werden offene Zimmertüren akzeptiert.

5.4.7 Wohnen: Natürliche Lüftung mit Fenstern und ALD, sowie unterstützende Abluftanlage

Allgemeine Beschreibung

Die Zimmer werden über Aussenbauteil-Luftdurchlässe (ALD) belüftet. Diese ALD, die auch als Fensterlüfter bezeichnet werden, sind typischerweise zu klein dimensioniert, um eine ausreichende natürliche Lüftung der Wohnung bei einer üblichen Belegung der Wohnung zu gewährleisten. Die Zimmer werden daher bei Belegung der Wohnung zusätzlich über die Fenster belüftet.

Bad/Du/WC werden, wenn erforderlich, mechanisch entlüftet. Dabei muss der eingesetzte Ventilator entsprechend den vorhandenen Aussenbedingungen (Wind, thermischer Antrieb) und der aufgrund der Personenbelastung benötigten Luftmenge (Luftqualität, Feuchte) die natürliche Lüftung unterstützen.

Die Kochstelle wird in diesem Konzept meist mechanisch entlüftet.

Beispiel

Das Beispiel in Abbildung 12 zeigt eine Wohnung mit einer natürlichen Lüftung mit Fenstern und ALD, sowie einer unterstützenden Abluftanlage. Dabei sind drei Lüftungsmodi möglich:

- a) Natürliche Grundlüftung mit ALD
- b) Fensterlüftung
- c) Mechanische Grundlüftung mit Nachströmung durch die ALD. Da oft nur einer der beiden Abluftventilatoren eingeschaltet ist, entspricht der Luftvolumenstrom nicht dem hygienisch angemessenen Wert.

Die Betriebsmodi b) und c) können alternativ oder parallel betrieben werden. Bei den Betriebsmodi a) und b) ist ein alternativer Betrieb typisch. Ein paralleler Betrieb kommt aber dann infrage, wenn beispielsweise ein Zimmer nicht genutzt wird (und daher nur mit Modus a) belüftet wird) und im Nachbarzimmer eine Fensterlüftung stattfindet.

Die Kochstelle wird mit einer Fortluft-Dunstabzugshaube entlüftet. Die Ersatzluft strömt über ein manuell betätigtes Kippfenster nach (vergleiche Kap. 5.4.3).

Bei Variante c) ist eine Abwärmenutzung in der Abluft durch eine Abluftwärmepumpe möglich.

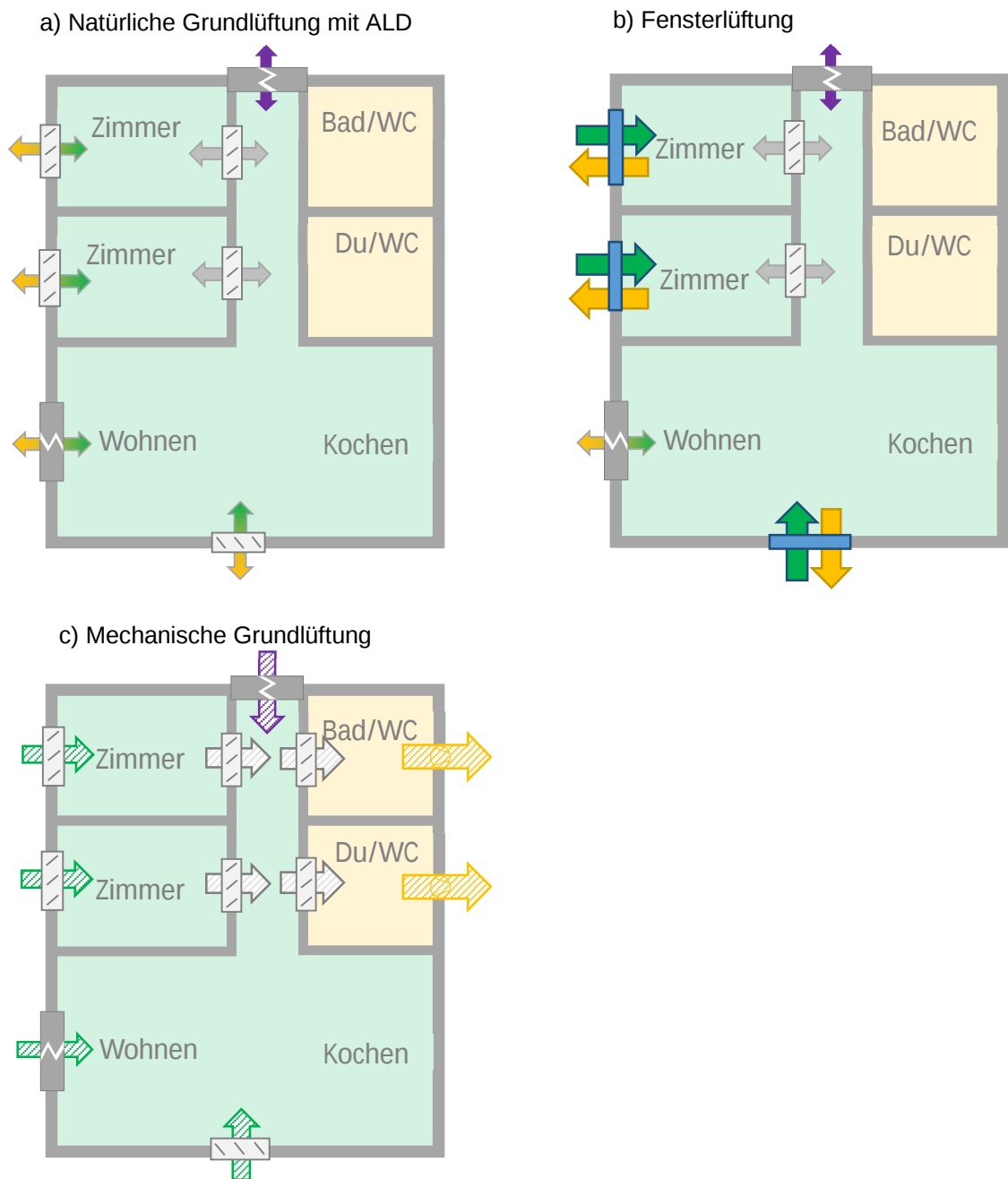


Abbildung 12: Natürliche Lüftung mit Fenstern und ALD, sowie unterstützende Abluftanlage mit den drei Betriebsmodi a), b) und c) gemäss Text

Optionen und Varianten

Die Tabelle mit den Optionen und Varianten zeigen heute verbreitete Lösungen auf. Die Lösungen entsprechen nicht in allen Fällen den Anforderungen der Schweizer Normen.



Tabelle 28: Optionen und Varianten zu Wohnen; Natürliche Lüftung mit Fenstern und ALD, sowie unterstützende Abluftanlage

Symbol	Thema	Beschreibung der Optionen und Varianten
	Natürliche Lüftung der Zimmer	Die natürliche Lüftung der Zimmer mit Fenstern kann erfolgen mit: Bei geschlossener Zimmertür - einseitige Stosslüftung eines einzelnen Zimmers (Drehflügel) - Kontinuierliche Lüftung über Kippstellung resp. Begrenzte Öffnung ** Bei offener Zimmertür - intensive Querlüftung mit Drehflügel - kontinuierliche Querlüftung mit Kippstellung resp. Begrenzter Öffnung ** - Verbundlüftung über Fenster in anderen Räumen
	Natürliche Bad/Du/WC	Falls die Ablufträume Fenster aufweisen, kann die natürliche Lüftung erfolgen durch: - einseitige Stosslüftung (Drehflügel) - Kontinuierliche Lüftung über Kippstellung resp. Begrenzte Öffnung **
	ALD (Fensterlüfter) für die mechanische Grundlüftung der Zimmer und Ersatzluft für Bad (WC/Du)	Die ALD sind in den Zimmern positioniert. Beim Betriebsmodus als natürliche Grundlüftung hängt die Strömungsrichtung von den Druckverhältnissen ab. Bei Betrieb der Abluftanlage stellt sich durch den Unterdruck eine Strömung von aussen nach innen ein. ALD können über folgende Funktionen verfügen: - Feste Einstellung (dauernd offen) - Manuelle Einstellung der Öffnungsstufe - Selbsttätiger Antrieb mit Feuchtesensor - Selbsttätiger Antrieb mit Temperatursensor
	Mechanische Lüftung Bad/Du/WC	Die Abluftanlage von Bad/Du/WC kann erfolgen mit: - Einzelraumventilatoren - Einzelwohnungsanlage (Ventilatorbox pro Wohnung) - Mehrwohnungsanlage
	Überströmung	Die Überströmung von den Zimmern in den Durchströmbereich und in die Ablufträume kann erfolgen mit: - Überströmluftdurchlass (ÜSDL), z. B. Luftspalt unter der Tür, spez. Element in der Tür oder Wand - undefinierte Überströmung **
Control mech. Zimmer	Steuerung/Regelung der mech. Lüftung Zimmer	Die Steuerung/Regelung der mechanischen Lüftung kann erfolgen - Nach Bedarf der Nutzenden (Handschalter) - Zeitprogramm Sensor im Durchströmbereich oder in der Abluft (CO ₂ , Feuchte, TVOC) Sensoren Abluft (CO ₂ , Feuchte, TVOC) in allen oder ausgewählten Räumen - Kombination der oben aufgeführten Optionen - Dauerbetrieb
Control Ablufträume	Steuerung/Regelung Ablufträume	Die Steuerung/Regelung der Lüftung der Ablufträume kann erfolgen durch - nach Bedarf der Nutzenden (manueller Lüftungsschalter) - automatisch Ein/Aus mit Sensor (Feuchte, TVOC) - bei Nutzung des Abluftraums (Lichtschalter, Präsenzsensoren) - Zeitprogramm - Kombination der oben aufgeführten Möglichkeiten - Dauerbetrieb Bei einem Ein/Aus-Betrieb mit manueller Schaltung oder Bedarfssensor ist eine Nachlaufzeit üblich.
Control Spezial	Spezielle Funktionen der Steuerung/Regelung	Eine Steuerung/Regelung kann mit folgenden Funktionen ausgerüstet sein: - Unterdrucküberwachung, spez. Bei einer Feuerstätte in der Wohnung - Verriegelung von Abluftventilatoren: Sperrung bei geschlossener Ersatzluftzufuhr
Legende * Die alleinige Luftführung über diesen Pfad entspricht nicht den Anforderungen der SIA 382/5:2021 [1]. ** Entspricht teilweise nicht den den Anforderungen der SIA 382/5:2021 [1] oder es ist unklar unter welchen Rahmenbedingungen die Anforderungen eingehalten werden.		



5.4.8 Vorbemerkung Büro

Die Systeme und Varianten, die in den Kapiteln 5.4.3 bis 5.4.7 beschrieben sind, lassen sich weitgehend auch in kleineren und mittleren Büroräumlichkeiten sowie vergleichbaren Nutzungen, wie beispielsweise stilles Gewerbe, einsetzen. Einschränkungen ergeben sich durch den Brandschutz, insbesondere die Fluchtweglänge.

5.4.9 Büro: Mechanische Lüftung mit unterstützender Nachtlüftung im Sommer durch natürliche Lüftung

Allgemeine Beschreibung

Die Haupträume (Büros, Sitzungszimmer, etc.) werden im Normalfall über eine klassische Lüftungsanlage mit Zu- und Abluft be- und entlüftet.

In Büroräumen sind die internen Wärmelasten in der Regel höher als in Wohnungen. Dadurch erhält der sommerliche Wärmeschutz eine grössere Bedeutung. Bezüglich der hybriden Lüftung bedeutet das, dass die natürliche Lüftung typischerweise zur Nachaukühlung eingesetzt wird. Neben ausreichend grossen Lüftungsöffnungen sind der Witterungs- und Einbruchschutz zu beachten. Klassische Dreh- oder Kippfenster können die Anforderungen teilweise nicht erfüllen. Daher kommen auch spezielle Lüftungsflügel und Klappen zum Einsatz. Eine Option sind zudem automatisierte Stellantriebe für Fenster (automatische Fensterlüftung) oder andere Lüftungselemente

Beispiel

Das Beispiel in Abbildung 13 zeigt eine mechanische Lüftung mit unterstützender Nachtlüftung im Sommer durch natürliche Lüftung für ein kleines Bürogebäude.

Die mechanische Lüftung ist mit einer Wärmerückgewinnung ausgestattet.

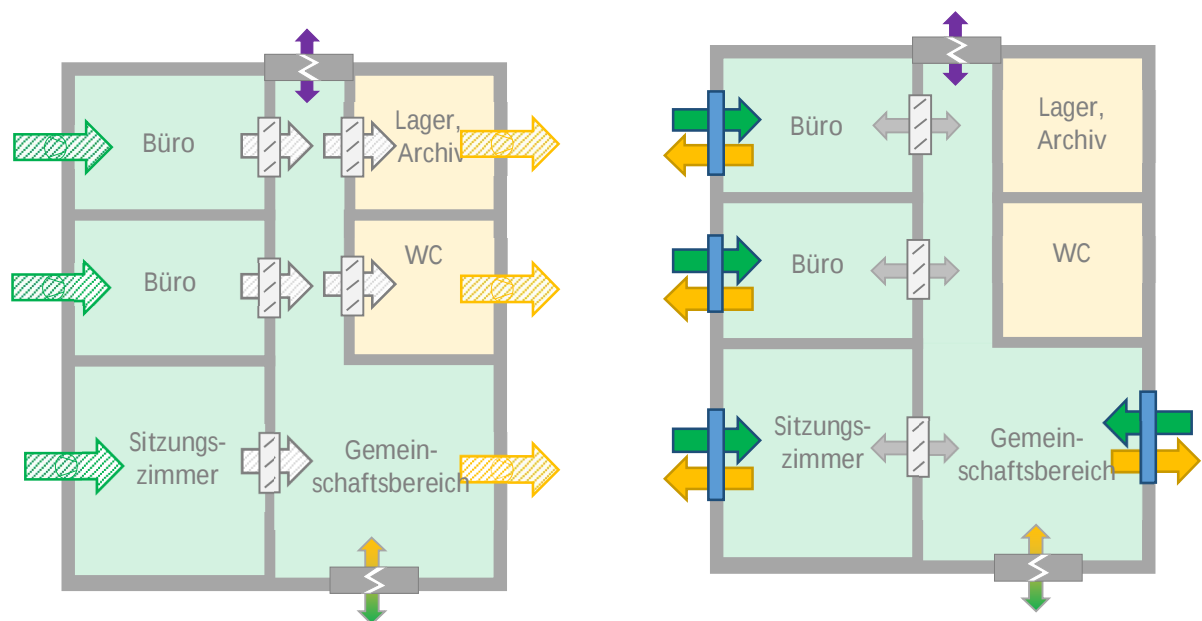


Abbildung 13: Büro: Mechanische Lüftung (links) mit natürlicher Nachtlüftung im Sommer durch natürliche Lüftung (rechts)

Legende und Optionen siehe Kapitel 5.4.3.



5.4.10 Büro: Verbundlüftung mit aktiven Überströmern, natürliche Lüftung des Verbundbereichs

Allgemeine Beschreibung

Die Haupträume (Büros, Sitzungszimmer, etc.) werden über aktive Überströmelemente (auch Verbundlüfter genannt) mit Luft aus einem gut belüfteten Korridorbereich gelüftet (Be- und Entlüftung). Die aktiven Überströmer sind so ausgelegt, dass Sie nur bei geschlossenen Türen aktiviert sind. Im Weiteren kann als Option die umgewälzte Luftmenge abhängig von der Luftqualität im Raum gesteuert werden.

Besonderes Augenmerk bei diesem Konzept bedarf die Lösung der brandschutztechnischen Anforderungen.

Beispiel

Das Beispiel in Abbildung 14 zeigt einen schematischen Querschnitt eines Bürogebäudes mit einer Verbundlüftung mit natürlicher Lüftung des Verbundbereichs. Als Verbundbereich wird z. B. ein Atrium genutzt.

Die Büros und Sitzungszimmer können alternativ oder parallel zur Lüftung aus dem Verbundbereich mit Fenstern gelüftet werden.

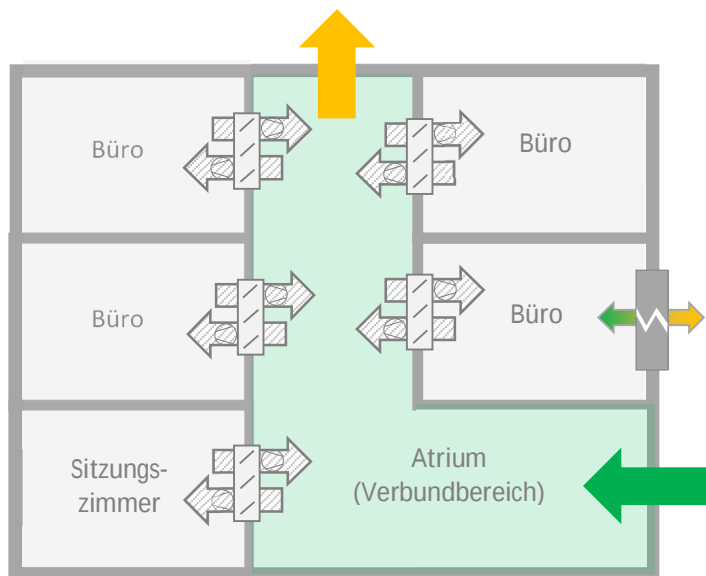


Abbildung 14: Büro: Verbundlüftung mit aktiven Überströmern, natürliche Lüftung des Verbundbereichs (schematischer Querschnitt)

5.4.11 Wohnen und Büro: Abluft mit natürlicher Schachtlüftung und Ventilatorunterstützung

Allgemeine Beschreibung

Dieser Systembestandteil kann bei Wohn- und Bürobauten eingesetzt werden und kann ein Lüftungskonzept ergänzen.

Funktion: Wenn die Aussentemperatur unter der Raumlufttemperatur liegt, entsteht durch den Stackeffekt ein Unterdruck in Raum resp. in den Räumen. Der Unterdruck kann alternativ oder parallel durch Wind (entsprechend aerodynamisch ausgebildete Dachhaube) erzeugt werden. Bei ungenügendem natürlichem Zug wird ein ergänzender Abluftventilator dazugeschaltet.



Abbildung 15 zeigt ein Beispiel eines Abluftgeräts aus Anhang F des Normentwurfs prEN 15665:2022-09-30 [11]. Das abgebildete Produkt stammt aus Frankreich. In [92] sind vier weitere Systeme beschrieben die im Rahmen des EU-Projektes RESHYVENT untersucht wurden.

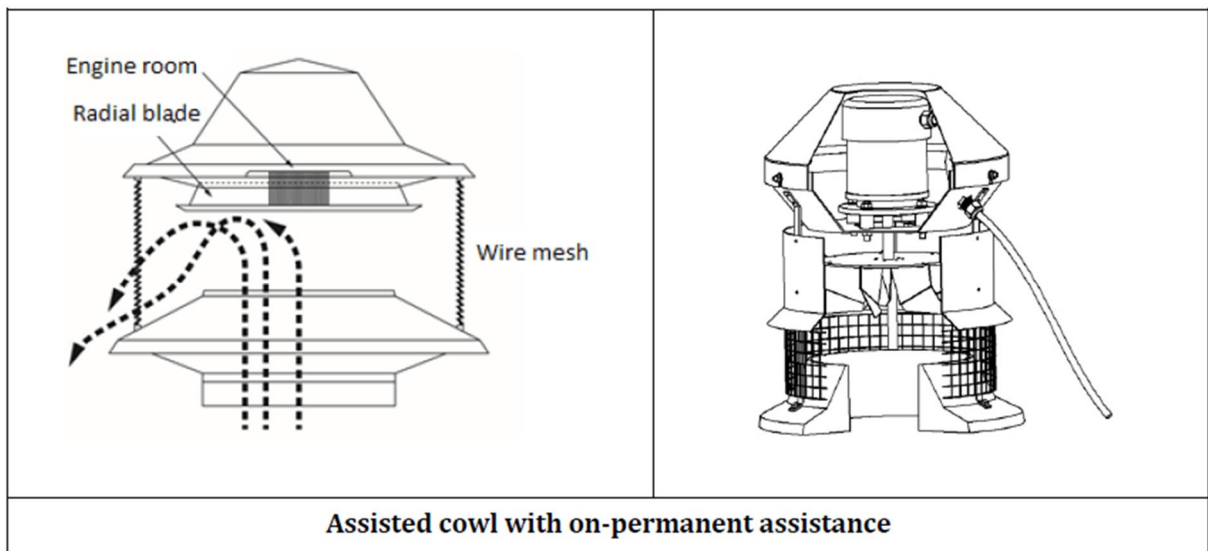


Abbildung 15: Abluftgerät für Schachtlüftung mit natürlicher Lüftung und unterstützender mechanischer Lüftung. Quelle: prEN 15665:2022-09-30 [11]

Einsatzbereich

Diese Abluftgeräte können grundsätzlich bei allen Abluftanlagen eingesetzt werden.

Da die Wirkung der natürlichen Lüftung wesentlich von der Auftriebskraft abhängt, eignet sich das Prinzip vorzugsweise für hohe (vielgeschossige) Gebäude. Zudem wird ein geringer Druckverlust (ALD und Abluftleitungen) vorausgesetzt.

Die Abluftanlage kann mit einer Abluftwärmepumpe zur Wärmerückgewinnung ausgestattet werden. Durch den zusätzlichen Druckverlust wird der Einsatz eines Ventilators notwendig.



5.5 Energie

5.5.1 Abschätzung Einsparungspotential

Im Vergleich zu einer unkontrollierten Lüftung über gekippte Fenster sind, bei vergleichbarer Luftqualität (im Sinne einer maximalen CO₂-Konzentration), die Lüftungswärmeverluste bei Konzepten mit hybrider Lüftung oder vereinfachten Lüftungskonzepten mit Aussenbauteilluftdurchlässen tiefer. Dies liegt daran, dass bei gekippten Fenstern auch teilweise mehr Luft in den Raum gelangt und damit grössere Wärmeverluste entstehen, als unbedingt notwendig. Als Abschätzung kann für diesen Fall, basierend auf Untersuchungen in Wohngebäuden [93], [33], von einer Einsparung von maximal 15 % ausgegangen werden. Wesentlich in einer Gesamtbetrachtung ist aber auch der für das System erforderliche Aufwand an grauer Energie und Strom für den Betrieb der Anlage. Hier können sich die Konzepte stark unterscheiden. Da die Luftverteilung einen grossen Anteil (im Bereich von 50 % oder mehr) der Belastung aus den verwendeten Materialien ausmacht [94], [95], kann durch Reduktion der Luftleitungen eine wesentliche Reduktion des Materialaufwandes für die Lüftung erreicht werden. Dies kann zu einer Reduktion der grauen Energie bzw. von Treibhausgasemissionen aus der Erstellung von etwa 20-40 % führen (im Vergleich zu einer konventionellen, nicht optimierten Anlage).

5.5.2 Hybride Lüftungssysteme im Vergleich

Die energetische Beurteilung von hybriden Lüftungsanlagen ist aufgrund der verschiedenen, von Standort, Nutzenden und Konzept abhängigen Einflüsse stark objektbezogen und wird dadurch bei gleichem Grundkonzept deutlich höhere Variationsbreiten aufweisen als rein mechanische Systeme. Resultate aus verschiedenen Untersuchungen, die auch energetische Aspekte behandeln (z. B. [27], [32], [33], [36], [44], [45], [56], [96]) zeigen daher unterschiedliche Ergebnisse und Folgerungen. Ähnliches zeigt sich auch bei verschiedenen Demonstrationsprojekten in denen auch energetische Aspekte vergleichend analysiert wurden (z. B. [61], [28], [63]). Verschiedene Annahmen bezüglich Primärenergie- und CO₂-Faktoren erschweren energetische Vergleiche von unterschiedlichen Projekten.

Für eine energetische Beurteilung von hybriden Lüftungsanlagen müssen in jedem Fall auch die erreichten Werte zur Raumluftqualität und dem thermischen Komfort mitberücksichtigt werden. Ohne Einbezug dieser Parameter kann sonst kein aussagekräftiger Vergleich zu anderen Konzepten, wie z. B. rein mechanische Zu- und Abluftanlagen gezogen werden.

Um die in Kapitel 5.4 aufgeführten hybriden Lüftungssysteme bezüglich ihrer energetischen Wirkung und Eigenschaften qualitativ zu bewerten, werden in



Tabelle 29 verschiedene Eigenschaften bewertet, die für den Energiebedarf relevant sind. Die Bewertung unterscheidet zwischen «gut», «neutral» und «ungünstig». Sie basiert auf dem Konsens der Berichtsautorinnen und -autoren. Das System «Abluft mit natürlicher Schachtlüftung und Ventilatorunterstützung» (Kap. 5.4.11) wird hier nicht aufgeführt, da es ein Systembestandteil ist und so eine Bewertung lückenhaft ist. Es könnte beispielsweise bei System «Natürliche Lüftung mit Fenstern und ALD, sowie unterstützende Abluftanlage» (Kap. 5.4.7) enthalten sein.

Bei dieser qualitativen Bewertung haben die «besten» Systeme in drei Kategorien eine «gute» Bewertung. Diese Systeme sind:

- Wohnen: ML mit ergänzender NL für Intensiv- oder (saisonalen) Alternativbetrieb
- Büro: ML mit unterstützender Nachtlüftung im Sommer durch NL
- Büro: Verbundlüftung mit aktiven Überströmern, NL des Verbundbereichs

Da eine Wärmerückgewinnung gegenüber einer Abwärmenutzung vorteilhafter ist, ist aus energetischer Sicht bei den Lösungen für Büro das System «ML mit unterstützender Nachtlüftung im Sommer durch NL» zu bevorzugen.



Tabelle 29: Qualitative energetische Bewertung von typischen Systemen hybrider Lüftung

Verwendete Abkürzungen: + = günstig / einfach realisierbar / vorhanden; o = neutral / realisierbar / möglich;

- = ungünstig / nicht realisierbar / nicht vorhanden; n.r. = nicht relevant

Kommentare:

¹⁾ = Meist nicht sinnvoll möglich, da zu kurze / unterschiedliche Betriebszeiten

²⁾ = Ausprägung stark abhängig von Konzept und Nutzung

³⁾ = Bewertung stark abhängig von Standort Aussenluftfassung der mech. Lüftung und Betriebskonzept

⁴⁾ = Bewertung stark abhängig von Standort, Betriebskonzept und Nutzung

		Wärmerückgewinnung	Abwärmenutzung	Stromverbrauch Ventilatoren	Einfluss auf Wärmebedarf	Einfluss auf potentiellen Klimakältebedarf
Wohnen	Manuelle Fensterlüftung mit bedarfs-gesteuerter Abluftanlage in Bad/WC	-	- ¹⁾	+	-	o
	ML mit ergänzender NL für Intensiv- oder (saisonalen) Alternativbetrieb	+ ²⁾	n.r.	o	+ ²⁾	+ ²⁾
	Mischsystem mit parallelem Betrieb von ML und NL	o	o	o	o	o / - ³⁾
	Mechanische Grundlüftung mit freier Verteilung	+	n.r.	-	+	o
	NL mit Fenstern und ALD, sowie unterstützende Abluftanlage	-	+	+	-	-
Büro	ML mit unterstützender Nachtlüftung im Sommer durch NL	+	n.r.	o	+	+
	Verbundlüftung mit aktiven Überströmern, NL des Verbundbereichs	-	+	+	o	+ ⁴⁾

Anmerkungen:

Insbesondere bei den Systemen für die Wohnnutzung spielen die Wärmeverluste der Anlage im Vergleich der Gesamtökobilanz eine wesentliche Rolle [33]. Dadurch zeigt sich bei den Konzepten ohne Wärmerückgewinnung ein grosser Einfluss und eine grosse Varianz im Energieverbrauch.

Weil die Lüftungsverluste und die Wärmerückgewinnung je nach Konzept sehr unterschiedlich sein können, wird neben dem Wärmebedarf auch der benötigte Leistungsbedarf der Wärmeerzeugung und -abgabe beeinflusst. Dies muss in einer Gesamtbewertung ebenfalls berücksichtigt werden.

Bei Konzepten ohne Wärmerückgewinnung aber mit Abwärmenutzung ist zu berücksichtigen, dass der elektrothermische Verstärkungsfaktor (ETV) der Abwärmenutzung um etwa einen Faktor 2 tiefer liegt als jener der Wärmerückgewinnung. Daher muss für eine energetische Gegenüberstellung immer das Gesamtsystem (inkl. Brauchwarmwasser) betrachtet werden [30]. Für die qualitative Betrachtung in diesem Kapitel ist die Wärmerückgewinnung vorteilhafter zu bewerten.



Beim Strombedarf sind Anlagenkonzepte günstig, welche geringe Gesamtluftmengen, eine bedarfsgerechte Steuerung, tiefe Druckverluste und Geräte mit einer hohen Effizienz (Ventilatoren und interne Druckverluste) aufweisen [33].

Ein zusätzlicher Einfluss auf den Energiebedarf hat die Luftdurchlässigkeit der Gebäudehülle, die insbesondere bei Konzepten mit Abluftanlagen durch den systembedingten Unterdruck zu wesentlicher Infiltration führt und so die Abluftmenge und damit den Wärmebedarf deutlich erhöht.

Klimakältebedarf: Im Bericht sind Systeme mit aktiver (maschineller) Kühlung ausgeschlossen. Die Bewertung des Einflusses auf den potenziellen Klimakältebedarf bezieht sich auf die Energie. Wird er gut bewertet, ist dies vorteilhaft für den sommerlichen thermische Komfort (auch ohne aktive Kühlung). Für die Wirksamkeit der Nachtlüftung ist eine schwere Bauweise des Gebäudes vorteilhaft.

5.6 Qualitative Bewertung von HLS Systemen

Bei hybriden Lüftungssystemen existiert eine grosse Vielfalt unterschiedlicher Konzepte, die unterschiedliche Stärken und Schwächen aufweisen. Da der Hauptzweck eines Lüftungskonzepts die Sicherstellung der Raumluftqualität ist, darf ein Vergleich der Systeme nicht nur auf die Investitionen oder den energetischen bzw. ökologischen Fussabdruck reduziert werden. Dies gilt insbesondere auch für hybride Lüftungssysteme, da die Bewertung einzelner Kriterien hier sehr von Standort und Konzept abhängig sein kann.

5.6.1 Bewertungskriterien

Für die qualitative Bewertung der in Kapitel 5.4 aufgeführten hybriden Lüftungssysteme werden die Kriterien aus [33] verwendet und wo sinnvoll auf Basis von [97] noch ergänzt. Folgende Kriterien werden dafür qualitativ beurteilt:

- Raumluftqualität: RAL-Klassen; Indikator CO₂; VOC, PM, Schutz vor Luftschadstoffen (Feinstaub, Pollen), Gefahr von Geruchsübertragung.
- Thermische Behaglichkeit Winter: Raumluftgeschwindigkeit bzw. Zugluft, Zulufttemperatur*
- Thermische Behaglichkeit Sommer: Raumlufttemperatur, Möglichkeit zur Nachtlüftung
- Raumluftfeuchte: Hohe / niedrige Raumluftfeuchte; Schutz vor Feuchtigkeitsproblemen
- Akustik, Geräteschall: Bewertung von Anlagegeräuschen
- Akustik, Schallschutz Aussenlärm: Schalldämmung gegen Aussenlärm *
- Akustik, Schallschutz Innenlärm: Schalldämmung gegen Innenlärm, Beeinträchtigung Luftschallschutz zwischen Räumen durch Lüftungskonzept
- Robustheit / Einfluss Benutzerverhalten: Abhängigkeit von Aussenbedingungen, Benutzereingriffen sowie sachgerechter, regelmässiger Wartung und Instandhaltung
- Brandschutz: z. B. Einschränkungen bei Umsetzung durch Brandschutzvorschriften
- Einbruchsschutz: Bewertung von potenziellen Konflikten mit Einbruchsschutz
- Materialbedarf / Materialökologie: z. B. mit Indikator «Graue Energie»
- Raumbedarf: Raumbedarf für Schächte bzw. Geräte
- Ökonomie / Erstellungskosten
- Ökonomie / Instandhaltungskosten (Unterhaltskosten, Wartung, Reinigung, etc.)

* = Für die untenstehende Bewertung wird von einer vergleichbare Raumluftqualität ausgegangen.



Je nach Konzept und Gebäudesituation (Standort, Gebäudetyp etc.) bestehen Risikofaktoren bzw. Ausschlusskriterien für gewisse Konzepte. Ein Entscheidungsverfahren mit entsprechenden Kriterien wurde in [32] für den Entscheid einer fensterunabhängigen Lüftung entwickelt. Für die Bewertung wurde in Anlehnung an dieses Verfahren ein Bewertungspunkt zu Risikofaktoren eingeführt. Darin werden wesentliche Risiken stichwortartig aufgeführt.

Ein Kriterium, das auf dieser Betrachtungsebene nicht bewertet werden kann, ist die technische Einfachheit des Konzeptes. Dieses Kriterium ist für einen langfristig störungsfreien Betrieb wichtig. Es hängt jedoch stark von der Ausführung im Detail ab (z. B. Regelkonzept etc.), die hier nicht bewertet werden kann.

5.6.2 Bewertung typischer Systeme mit hybrider Lüftung

Die in Kapitel 5.4 aufgeführten hybriden Lüftungssysteme werden in Tabelle 30 bezüglich den in Kapitel 5.6.1 beschriebenen Kriterien qualitativ bewertet. Die Bewertung unterscheidet zwischen «gut», «neutral» und «ungünstig». Bei der Bewertung, speziell bei «Thermische Behaglichkeit Winter» und «Akustik: Schallschutz Aussenlärm» wird davon ausgegangen, dass das jeweilige Lüftungskonzept immer eine vergleichbare Raumluftqualität bereitstellen soll. Die Bewertung erfolgte in Anlehnung an die Resultate aus [33] und basiert auf dem Konsens der Berichtautorinnen und -autoren. Für die Bewertung der energetischen Aspekte wird auf die Resultate in Tabelle 29 verwiesen.

Die Bewertung in Tabelle 30 zeigt, dass eine gute Beurteilung bezüglich Raumluftqualität, Raumluftfeuchte, thermische Behaglichkeit, Robustheit, Betriebsenergie und Schallschutz oft höhere Investitionen und Materialbedarf (graue Energie) erfordert. Die Relevanz und Gewichtung der verschiedenen Kriterien hängt stark vom jeweiligen Objekt, seinem Standort und weiteren Rahmenbedingungen im Konzept ab und muss daher für eine Gesamtbewertung projektspezifisch festgelegt werden.

Tabelle 30: Bewertung von typischen Systemen hybrider Lüftung.

Verwendete Abkürzungen: + = günstig / einfach realisierbar / vorhanden; o = neutral / realisierbar / möglich;

- = ungünstig / nicht realisierbar / nicht vorhanden; *) = exkl. Kosten für Betriebsenergie (für Betriebsenergie siehe Kap. 5.5).

Risikofaktoren:

A = Aussenbedingungen (Luftqualität, Lärm);

B = Anforderungen Brandschutz;

P = Unterdruck (Infiltration)

Kommentare:

¹⁾ = Bewertung stark abhängig vom Betriebskonzept und Nutzerverhalten

²⁾ = Bewertung stark abhängig von Aussenbedingungen und Unterhalt der Aussenbauteilluftdurchlässe

³⁾ = Bewertung stark abhängig von den eingesetzten Geräten

⁴⁾ = Bewertung abhängig von Standort und Ausführung der Aussenbauteilluftdurchlässe

⁵⁾ = Bewertung stark abhängig von Betriebskonzept und den eingesetzten Elementen

⁶⁾ = Bewertung für Wohnnutzung als vergleichbar eingeschätzt. Bei Büronutzung stark von Fluchtwegkonzept abhängig.

⁷⁾ = ALD, die nicht verstellbar sind, werden gegebenenfalls durch die Nutzenden manipuliert, oder wegen der Nichtbedienbarkeit der ALD gegenüber Fensterlüftung oft negativer beurteilt.



		Raumluftqualität	Thermische Behaglichkeit Winter	Thermische Behaglichkeit Sommer	Raumluftfeuchte	Akustik: Geräteschall	Akustik: Schallschutz Aussenlärm	Akustik: Schallschutz Innenlärm	Robustheit / Einfluss Benutzerverhalten	Brandschutz	Einbruchsschutz	Materialbedarf / Materialökologie	Raumbedarf (Geräte / Schächte)	Ökonomie / Erstellungskosten	Ökonomie / Instandhaltungskosten *)	Risikofaktoren
Wohnen	Manuelle Fensterlüftung mit bedarfs-gesteuerter Abluftanlage in Bad/WC	-	-	o	-	+	-	+	-	+ ⁶⁾	-	+	+	+	+	A
	ML mit ergän-zender NL für Intensiv- oder (saisonalen) Alternativ-betrieb	+	+	+	+	+	+ ¹⁾	o	+ ⁵⁾	+ ⁶⁾	+	-	-	-	o	
	Mischsystem mit parallelem Betrieb von ML und NL	o ¹⁾	o ¹⁾	o	o	- ³⁾	o	+	o	+ ⁶⁾	o	-	o	-	-	A
	Mechanische Grundlüftung mit freier Verteilung	o ¹⁾	+	+	+	+	+	-	- ⁵⁾	+ ⁶⁾	+	o	-	o	o	
	NL mit Fenstern und ALD, sowie unterstützende Abluftanlage	o ²⁾	o	-	-	o	o	o ⁵⁾	- ⁷⁾	o ⁶⁾	o	o	o	o	o	P
Büro	ML mit unter-stützender Nachtlüftung im Sommer durch NL	+	+	+	+	+	+	+	o	o ⁶⁾	o ⁴⁾	-	-	-	o	
	Verbundlüftung mit aktiven Überströmern, NL des Verbund-bereichs	o ²⁾	o	o ⁴⁾	+	o ³⁾	+ ⁴⁾	o ³⁾	-	- ⁶⁾	o ⁴⁾	+	+	+	o	B

Die finale Bewertung hängt von dem gewählten Themenschwerpunkt ab. Beispielsweise schneidet das System «Wohnen: Manuelle Fensterlüftung mit bedarfsgesteuerter Abluftanlage in Bad/WC» bei den Kriterien Material-, Raumbedarf und Ökonomie gut ab, dafür aber nicht in den Kategorien Raumluftqualität, thermische Behaglichkeit Winter, Raumluftfeuchte, Akustik: Schallschutz Aussenlärm, Robustheit und Einbruchsschutz. Das Konzept «Wohnen: ML mit ergänzender NL für



Intensiv- oder (saisonalen) Alternativbetrieb» wird in den meisten Kategorien gut bewertet, ausser genau in den Bereichen Materialbedarf, Raumbedarf und Ökonomie / Erstellungskosten.

Fazit zu typischen Systemen mit hybrider Lüftung:

Im Wohnbereich sind Systeme mit ML und ergänzender NL oder mechanischer Grundlüftung mit freier Verteilung von Interesse, da sie bei korrekter Auslegung die Vorteile der mechanischen Lüftung beibehalten und dennoch eine gewisse Reduktion beim Material- Raumbedarf bewirken können. Anspruchsvoll in der Planung sind Systeme mit Abluftanlagen und Fensterlüftung oder ALD's wegen möglicher Einschränkungen bei der Behaglichkeit, Robustheit und der stärkeren Abhängigkeit von Standorteinflüssen.

Im Bereich der Dienstleistungsbauten wird insbesondere die Nutzung der NL zur Nachtlüftung positiv beurteilt gegenüber einer ML ohne eine entsprechende Funktion. Soll bei Dienstleistungsbauten eine wesentliche Reduktion des Material- Raumbedarfs und der Kosten erzielt werden, sind HLS mit Verbundlüftungskonzept (aktive Überströmung) eine mögliche Lösung. Speziell zu beachten sind bei diesen Konzepten eventuelle Einschränkungen aufgrund des Brandschutzes und des Einflusses der Aussenbedingungen (Robustheit).



6 Planungsthemen im Zusammenhang mit hybrider Lüftung

Um eine systematische Erfassung zu ermöglichen, orientiert sich die Struktur dieses Kapitels an der Gliederung der SIA 382/5:2021 [1]. Damit entspricht bei den meisten Unterkapiteln die Überschrift jener in der Norm (es sei denn, das Thema wird in der SIA 382/5:2021 nicht adressiert). Wo zutreffend, ist die entsprechende Kapitelnummer der SIA 382/5:2021 in einer Klammer vermerkt (SIA x.y.z).

Durch die Strukturierung entsprechend SIA 382/5:2021 ergeben sich gewisse inhaltliche Überschneidungen zwischen einzelnen Unterkapiteln, so z. B. bei den Kapiteln 5.2 und 5.5. Im Sinne des Projektzieles (Grundlagen für spätere Normierungsarbeit) wurden diese so belassen.

6.1 Vorbemerkungen

Die Behandlung von hybriden Lüftungssystemen bezüglich Anforderungen, Planung, Ausführung und Prüfung ist komplexer als für rein mechanische Lüftungsanlagen resp. ausschliesslich natürlich belüftete Gebäude. Es sind mehrere Gewerke des Gebäudes involviert, und gewisse Komponenten des HLS können sowohl der ML wie auch der NL zugeordnet werden.

Beispiele für typische Fragestellungen betreffend Anforderungen sind:

- Bestehen Unterschiede zwischen ML und NL bezüglich der Anforderungen an Luftraten und Raumluftqualität, thermische Behaglichkeit, Schallschutz, Energiebedarf?
- Ab wann treffen bei hybriden Systemen die Anforderungen SIA 382/5:2021 [1] zu, ab wann gelten vereinfachte Anforderungen? Treffen die Anforderungen SIA 382/5:2021 immer dann zu, wenn ein MLS vorhanden ist? Oder nur, wenn das MLS in Betrieb ist?
- Gibt es zeitliche oder andere Gewichtungen bezüglich der Erfüllung der Anforderungen an das Innenraumklima? Sollen Kriterien bezüglich Über- resp. Unterschreitungen und entsprechende Limiten definiert werden?
- Welchen Anforderungen sollen Komponenten wie ALD genügen, die Bestandteil des MLS wie des NLS sind? Gibt es unterschiedliche Anforderungen? Technisch würde einiges dafürsprechen. Praktische Durchführung?

Ziel dieses Kapitels ist es, Planungsthemen und Probleme, die im Zusammenhang mit hybrider Lüftung auftauchen, zu benennen, und unterschiedliche Methodiken zur Antwortfindung und mögliche Lösungsansätze aufzuzeigen. Die Planungsthemen werden gemäss folgendem Raster behandelt:

- Identifizierte Probleme / Verbesserungsbedarf resp. -potentiale
In diesem Abschnitt werden Probleme, mögliche Fehlerquellen und kritische Punkte erwähnt. Kontext ist der heutige Stand des Planungsalltags. Aus manchen Problemen können Forschungsfragen resultieren.
- Hinweise zu Anforderungen und Lösungsansätze
Es werden mögliche Lösungen und Kommentare gegeben.
- Normative Lösungsansätze (vorhandene Normen)
Dieser Abschnitt enthält Verweise auf bestehende Normen
- Normative Lösungsansätze (Vorschlag)
Hier finden sich Vorschläge und Hinweise für zukünftige normative Ansätze
- Offene Forschungsfragen
Hier werden zu klärende Fragen aufgeführt. Zur Klärung sind ggf. noch Hintergrundinformationen, Abklärungen oder die Validierung bestehender Ansätze notwendig.



6.2 Projektierung – Anforderungen (SIA 382/5, Kap. 2)

6.2.1 Planungsablauf (Allgemein)

Der Planungsablauf ist für hybride Lüftungen zum einen komplexer als bei einer mechanischen Lüftungsanlage, da mehr Gewerke direkt in die Planung involviert sind. Zum anderen sind für diese Systeme noch keine eingespielten Planungsabläufe vorhanden. Für die Funktionalität der Anlage ist es zwingend, dass sich die verschiedenen Akteurinnen und Akteure in der Planung gut koordinieren. Im Weiteren beinhalten hybride Lüftungen oft Elemente, die durch die Nutzerinnen und Nutzer zu bedienen sind. Insofern ist es sinnvoll im Planungsprozess neben der Bauherrschaft (Definition der Vorgaben) auch möglichst frühzeitig die Betreiber:in (Liegenschaftsverwaltung) einzubeziehen, damit die Information und Instruktion der Nutzerinnen und Nutzer entsprechend geplant werden kann.

Grundsätzlich kommen für den Planungsablauf (Planungsphasen) dieselben Grundsätze zur Anwendung wie sie z. B. in SIA 108:2020 [98] beschrieben sind.

Im Vergleich zu üblichen Lüftungskonzepten mit mechanischer Lüftung muss verschiedenen Punkten jedoch eine erhöhte Aufmerksamkeit geschenkt werden, damit die Funktionalität im gebauten Objekt gegeben ist und den Anforderungen entspricht:

- Bedürfnisklärung: Die gestellten Anforderungen müssen frühzeitig bestimmt werden und neben technischen Anforderungen wie z. B. an die Luftqualität auch benutzerrelevante Aspekte enthalten (wie viel Eingriff durch die Nutzerinnen und Nutzer wird gefordert und gewünscht).
- Projektorganisation: Die Projektorganisation in der Planung muss gewährleisten, dass eine Koordination der involvierten Gewerke sichergestellt ist. Je nach Komplexität kann es dabei sinnvoll sein, dafür eine spezifische Fachkoordination einzusetzen. Auch muss die Projektorganisation die Gesamtverantwortung für das hybride Lüftungssystem klar festlegen und diese Funktion ist organisatorisch (Entscheidungsablauf) und fachlich mit den entsprechenden Kompetenzen auszustatten.
- Projektpflichtenheft: Für die Planung muss ein klares Projektpflichtenheft vorliegen, das die Anforderungen festhält. Für die Ausschreibung müssen die Anforderungen an die Elemente (vor allem die speziellen) klar spezifiziert werden können. Auch sind die Anforderungen an die Architektur festzuhalten (bzw. architektonische Anforderungen an die technischen Elemente).
- Inbetriebnahmekonzept: Die Anforderungen an die (gewerkeübergreifende) Inbetriebnahme müssen frühzeitig bestimmt werden. Dabei sind neben den üblichen Leistungsprüfungen (z. B. für Teile der mechanischen Lüftungsanlage) auch übergeordnete Tests und Prüfungen vorzusehen, um die Funktionalität des Gesamtsystems prüfen zu können (vergleichbar mit integralen Tests).
- Bewirtschaftung: Aus der Planung müssen für die Instruktion verwendbare Unterlagen hervorgehen, welche eine (periodische) Instruktion der Nutzerinnen und Nutzer erlaubt.

Insbesondere bei wiederkehrenden Planungen (z. B. gleiches System bei anderem Objekt) sollte eine Feedback-Schleife im Prozess eingeplant werden, um für zukünftige Projekte von Erfahrungen aus der Planung zu profitieren.

In Tabelle 31 ist ein Planungsablauf dargestellt, wie er z. B. in SIA 102:2020 [99] und SIA 108:2020 [98] beschrieben ist. Darin sind einige speziell für hybride Lüftungssysteme wichtige Punkte aufgeführt. Die Tabelle gibt auch Hinweise zur Rolle und zu den Verantwortlichkeiten der Bauherrschaft. Diese Hinweise sind nicht abschliessend, da sie sich im Spannungsfeld zwischen der Entscheidungshoheit und daraus resultierend der Übernahme von Verantwortung (ohne die notwendige Fachkenntnis) bewegen. Das Planungsteam gewinnt bei der hybriden Lüftung mehr an Gewicht, da die Bauherrschaft zur informierten Entscheidungsfindung auf gute Grundlagen angewiesen ist.



Tabelle 31: Vorschlag für Planungsablauf für hybride Lüftungssysteme. Phasen gemäss SIA 102:2020 [99] und SIA 108:2020 [98]

Phase	Beispiel	Rolle Bauherr-schaft
Strategische Planung SIA Phase 1	- Klärung der Bedürfnisse, die das Lüftungskonzept erfüllen soll (mit Bauherrschaft). - Festlegen der Ziele und Rahmenbedingungen, die für die Planung des Lüftungskonzeptes gelten sollen. - Festlegen der (grundsätzlichen) Lösungsstrategie, bzw. Lösungsalternativen aufzeigen.	Festlegen der Bedürfnisse Entscheid zu Lösungsvariante
Vorstudien SIA Phase 2	- Analyse der Aufgabe (Überprüfen der Ziele und Rahmenbedingungen). - Rahmenbedingungen des Standortes (z. B. Aussenluftqualität, Aussenlärm, geplante Nutzung etc.). - Machbarkeitsstudie basierend auf den Lösungsstrategien bzw. den Lösungsalternativen aus der strategischen Planung. - Vorabklärung des technischen Brandschutzes (Machbarkeit). - Vorabklärung durch involvierte Planende / Gewerke. - Darstellen und Bewerten prinzipieller Lösungsansätze. - Projektpflichtenheft: Festlegung der Anforderungen an das hybride Lüftungssystem. - Erstellen der fachspezifischen Projektdefinition als Bestandteil des Projektpflichtenheftes.	Überprüfen der Bedürfnisse Prüfen, freigeben Pflichtenheft u.U. Entscheid zu alternativer Lösung
Projektierung SIA Phase 3	- Projektpflichtenheft: Überprüfen der Festlegungen / Anforderungen an das hybride Lüftungssystem. - Projektorganisation: Definition der Aufgabenbereiche der involvierten Gewerke / Planende, System zum Informationsaustausch (ev. Einführung einer Fachkoordination, PQM). Wichtige Punkte in der Projektierung: - Anlagekonzept einschliesslich der Strategie bezüglich Betrieb, Wartung und Instandhaltung. - Erarbeiten des Regelkonzeptes (Regelbeschrieb mit klaren Funktionszuordnungen). - Erarbeiten des Mess- und Inbetriebnahmekonzeptes (ev. mit integralen Tests). - Koordination baulicher Massnahmen, die für die Funktionalität zentral sind. Die Koordination der Planungsinhalte zwischen den involvierten Gewerken / Planenden muss für die Projektierung sichergestellt sein (ev. durch spezifische Fachkoordination?). - Aufgrund der diversen beteiligten Gewerke ist das Festhalten wichtiger Angaben zum Lüftungskonzept (z. B. Lüftungsfunktion von Fensterelementen) in den Architekturplänen festzuhalten.	Freigabe des PQM für Projektierung Entscheid zu Anpassungen am Projekt (z. B. geänderte Randbedingungen, Bedürfnisse, oder wesentliche Änderungen, die sich aus der Planung ergeben)



Phase	Beispiel	Rolle Bauherr-schaft
Ausschreibung SIA Phase 4	• Erstellen der Ausschreibungsunterlagen: Anforderungen an die einzelnen Bauteile (v.a. auch bauliche Elemente wie Aussenbauteil-Luftdurchlässe oder Überström-Luftdurchlässe müssen klar sein.). • Ausführungspläne: Müssen so koordiniert sein, dass die Funktionalität des Gesamtsystems der hybriden Lüftung sichergestellt ist.	Prüfen, Freigeben, Submission
Realisierung SIA Phase 5	• Bauwerk gemäss Pflichtenheft und Vertrag erstellt. • Planen und durchführen der Inbetriebnahme (ev. mit integralen Tests). • Erstellen von revidierten, koordinierten Unterlagen (Dokumentation für die Bauherrschaft), welche die Funktionen des hybriden Lüftungskonzeptes aufzeigen und für die Bewirtschaftung nutzbar sind (Betriebsunterlagen für die Instandhaltung / Wartung zuhanden des Betreibers der Anlage).	Genehmigen von Änderungen an Projekt- und Ausführung; Festlegen von Vorgaben für Nutzer:innen und Bewirtschafter: innen
Bewirt- schaftung SIA Phase 6	• Grundlage: Bauwerksakten mit vollständiger Dokumentation für die Bauwerksbewirtschaftung. • Betriebsunterlagen: Implementieren der Instandhaltung in den Betriebsunterlagen. • Information der Nutzer über wesentliche Aspekte daraus (z. B. bezüglich Bedienung). • Definition der Zuständigkeiten Betreibende / Nutzende. • Umsetzen des Instandhaltungskonzeptes (Durchführen von Kontrollen, Inspektionen, Wartung). • Umsetzen der Nutzerinformation (z. B. bei Mieterwechsel etc.).	Freigabe der Dokumente und Aufträge zur Bewirtschaftung; Sicherstellung der Information der Nutzer:innen
Rückbau	• Die Phase «Rückbau» ist im Projektpflichtenheft zu thematisieren. Dort sind bereits Festlegungen zur Erneuerung / Retrofit / Rückbau zu machen, da bei HL das System mehr Bauteile mit sehr unterschiedlicher Lebensdauer beinhalten kann, die zusammen funktionieren müssen.	Überprüfen der Vorgaben zum Rückbau aus Projektierung

6.2.2 Planungsverantwortung für hybrides Lüftungssystem (Allgemein)

Anforderungen und Vorgaben liegen vor allem für mechanische Lüftungssysteme vor (SIA 382/1:2014 [2] und SIA 382/5:2021 [1]). Darin wird die natürliche Lüftung meist nur wenig spezifisch als ergänzende Massnahme aufgeführt. Grundlegende Anforderungen für beide Teilsysteme sind in SIA 180:2014 [3] aufgeführt.

Es stellt sich nun Frage, welche dieser Anforderungen «wann», «wie» und «wo» für hybride Lüftungssysteme gelten. Bis jetzt können diese Punkte nur durch vertragliche Vereinbarungen für ein einzelnes Objekt (z. B. durch Nutzungsvereinbarungen) abgedeckt werden. Auch bezüglich der Planungsleistungen besteht eine Schwierigkeit, da viele Elemente der hybriden Lüftung z. B. nicht in den aufwandbestimmenden Baukosten des Gewerkes Lüftung enthalten sind. Für die Planung ist es jedoch wichtig, einen Planungsverantwortlichen Lüftung zu haben, der alle Aspekte der hybriden Lüftung abdeckt. In vielen Fällen wäre dies sinnvollerweise der/die Lüftungsplaner:in mit Zuständigkeit



für die mechanische Lüftung. Dieser muss dafür aber über die entsprechenden Kompetenzen verfügen und muss für den zusätzliche Aufwand vergütet werden (z. B. mit einem entsprechenden spezifischen Mandat für Fachkoordination (ähnlich SIA 108 Art 9)).

Tabelle 32: Vorschlag für Verantwortlichkeiten in der Planung von hybriden Lüftungssystemen

Beteiligte	Beispiel
Bauherrschaft	Bestimmt (ev. zusammen mit dem Planungsteam) die Anforderungen, welche das hybride Lüftungssystem zu erfüllen hat. Übernimmt die Abstimmung der sich daraus ergebenden Anforderungen an die Benutzereingriffe mit den Gebäudebetreibenden (z. B. Liegenschaftsverwaltungen). Informiert (über Gebäudebetreibende) die Benutzerinnen und Benutzer über die Verhaltensweise, die in Bezug auf das Lüftungskonzept zu beachten ist. Stellt (über die Gebäudebetreibenden) sicher, dass die notwendigen regelmässigen Wartungs- und Unterhaltsarbeiten durchgeführt werden, um die Funktionalität zu erhalten. Muss die Voraussetzung zu einer Auswahl von qualifizierten Fachplanenden schaffen.
Architektin und Architekt (Verantwortlich für die Gesamtplanung)	Ist verantwortlich, dass die Projektorganisation und die eingesetzten Fachplanenden die erforderlichen Kenntnisse für die Planungsaufgabe besitzen. Definition der Aufgabenbereiche der involvierten Gewerke, Festlegung einer gesamtverantwortlichen Person für das hybride Lüftungssystem; geeigneter Informationsaustausch. Sinnvollerweise wird diese Aufgabe von der Lüftungsplaner:in übernommen (entsprechende Kompetenzen im Bereich der natürlichen Lüftung vorausgesetzt). Plant eine dichte (dafür vielleicht diffusionsoffene...) Gebäudehülle mit den im Lüftungskonzept vorgesehenen und mit der Hauptplaner:in Lüftungskonzept abgesprochenen Lüftungsöffnungen und lässt es so ausführen.
Hauptplaner:in Lüftungskonzept	Trägt die Gesamtverantwortung für die Funktionalität des Lüftungskonzeptes für die hybride Lüftung. Muss zwingend in die Erarbeitung des Projektpflichtenheftes einbezogen sein (Phase Vorstudie). Übernimmt die Koordination der relevanten Schnittstellen zu den anderen involvierten Fachplanenden, Spezialistinnen und Lüftungsunternehmer (v.a. wenn z. B. Ausführungsplanung durch diesen erfolgt). Plant die Inbetriebnahme und die durchzuführenden Tests und Messungen. Ev. auch Abnahme der Ausführungsarbeiten auf der Baustelle (oftmals ist ja der Lüftungsplaner nicht der Ausführende).
Lüftungsplaner:in	Plant und dimensioniert die mechanische Lüftungsanlage in enger Abstimmung mit der Hauptplaner:in Lüftungskonzept. Sorgt für deren ordnungsgemässe Ausführung und Inbetriebnahme einschliesslich der Leistungsüberprüfung. Da hier sehr viel Koordinationsbedarf besteht, ist es sinnvoll, wenn die Lüftungsplaner:in auch die Gesamtplanungsverantwortung für das hybride Lüftungssystem übernehmen kann.



Beteiligte	Beispiel
Weitere Fachplanerinnen und Spezialisten (Aufzählung nicht abschliessend!)	Fassadenplanerin: Plant in Abstimmung mit der Hauptplaner:in Lüftungskonzept die für die natürliche Lüftung erforderlichen Fassadenöffnungen (inkl. deren Ansteuerung). Prüft und setzt die Anforderungen an den Einbruchs- und Witterungsschutz um. Elektroplaner/ Gebäudeautomation (MSRL / GA): Plant die Versorgung und Ansteuerung aller Mess- und Regelkomponenten. Dazu gehört auch die Abstimmung mit den Regel- und Steuersystemen der Haustechnik (Heizung / Kälte) und z. B. vom Sonnenschutz. Setzt das vorgesehene Regelungskonzept um und plant die Inbetriebnahme der gesamten Regeltechnik in Abstimmung mit der Hauptplaner:in Lüftungskonzept. Systemlieferantin: Bei hybriden Lüftungskonzepten ist oft eine Systemlieferantin beteiligt, die spezifische Konzepte, Elemente und Regelungen plant und liefert. Die Systemlieferantin ist frühzeitig in die Koordination des Gesamtkonzeptes einzubinden und eine enge Abstimmung mit dem Hauptplaner:in Lüftungskonzept, der Planerin der Gebäudeautomation und u.U. anderen beteiligten (z. B. Fassadenplaner) ist erforderlich. Brandschutzspezialist: Legt in Abstimmung mit der Hauptplaner:in Lüftungskonzept die Anforderungen an die für die Luftüberströmung erforderlichen Überströmöffnungen fest (inkl. Anforderungen an Brandfallfunktionen). Plant in Abstimmung mit der Hauptplaner:in Lüftungskonzept die notwendigen Tests (integrale Tests). Bauphysikerin: Weist die Hauptplaner:in Lüftungskonzept auf mögliche Probleme bezüglich Behaglichkeit (Zugluft, sommerlicher Wärmeschutz), Akustik bzw. Schallschutz und Bauschäden (Kondensat / Schimmel) hin und bestimmt in Abstimmung mit der Hauptplaner:in Lüftungskonzept notwendige Massnahmen.

6.2.3 Welche Art der Anforderungen ist für hybride Lüftungssysteme sinnvoll? (Allgemein)

Bei HLS sollte zunächst zwischen Anforderungen an das Innenraumklima und technischen Anforderungen an Komponenten unterschieden werden. Dies betrifft auch die Einhaltung/ Überprüfung der Anforderungen.

Bei den technischen Anforderungen an die einzelnen Komponenten, insbesondere des MLS, stellt sich die Frage der spezifischen Anwendung für HLS weniger. Die Anforderungen an Parameter wie Druckverluste, elektrische Energieeffizienz, Schallschutz etc. können in einer ersten Näherung die gleichen sein wie für ein reines MLS. Spezifische, technische Anforderungen für HLS könnten aber z. B. für Fensterlüfter oder für die Regelung/Steuerung nötig sein. Mögliche Anforderungen können auch bezüglich des Einbruchschutzes erforderlich sein. Weitere Informationen finden sich in Kapitel 6.4.4.

Die Anforderungen für HLS betreffen beim Innenraumklima Aspekte wie Raumluftqualität, thermische Behaglichkeit Sommer / Winter und Akustik.

Hier geht es zunächst darum zu definieren, welche Anforderungen für HLS gelten. Da diese Systeme eine Kombination aus NLS und MLS darstellen, muss geklärt werden, ob es eigene Anforderungen gibt, oder welche der vorhandenen Anforderungen für MLS resp. NLS wann gelten. In einem nächsten Schritt muss geklärt werden, wie die Einhaltung dieser Anforderungen gewährleistet, bzw. überprüft werden kann.

Derzeit wird in einigen Normen bei bestimmten Vorgaben differenziert, je nachdem, ob das Gebäude über ein NLS oder ein MLS verfügt. Als Beispiel dient SIA 180:2014 [3], wo separate Anforderungen an die empfundene Temperatur (natürliche Lüftung Kap. 2.2 und mechanische Lüftung Kap. 2.3, Korrigendum C2 2020 [82]: einheitliche Anforderungen an natürlich und mechanische Lüftung), das Zugluftrisiko (Kap. 2.3.1.1, Kap. 2.3.3, Kap. 2.4.2.2), und die Luftdichtheit (Kap. 3.6.1.3) gestellt werden. Die Vorgaben sind hier grosszügiger ausgelegt, wenn es um natürliche Lüftung geht. Die möglichen Optionen für Anforderungen an hybride Lüftungssysteme zeigt Tabelle 33.



Tabelle 33: Mögliche Optionen zur Definition von Anforderungen an hybride Lüftungssysteme (HLS)

Option für Anforderung an HLS	Bemerkung / Beispiel
Es gelten die weniger strengen/engen Anforderungen.	Beispiel: Für die Bewertung der thermischen Behaglichkeit wird für HLS in der Forschung meist die adaptive Komforttheorie [100] angewendet [26]. In der Normung findet sich diese in der SN EN 15251:2007 [7] und in der SN EN 16798-1:2019 [14]. In SIA 180-C2:2020 [82] entspricht das den Anforderungen aus Kap. 2.2 für NLS und MLS (ohne aktive (maschinelle) Kühlung).
Es gelten immer gerade diejenigen Anforderungen für dasjenige System, welches gerade in Betrieb ist.	Für einen saisonalen Wechsel ist das noch möglich, bei einer kürzeren zeitlichen Taktung ist das unrealistisch.
Als Grundlage gilt, welches System anteilig länger in Betrieb ist. Dabei ist auch die Betriebszeit (Tag / Nacht) zu berücksichtigen.	Welches System länger in Betrieb ist, ist in der Planung ev. schwierig festzulegen, da dies abhängig vom aktuellen Klima, der Belegung und den Lasten, etc. ist.
Mittelwerte zwischen den Anforderungen NL und ML.	Eventuell könnten auch Minimalanforderungen an die ML formuliert werden.
Anforderungskategorien unterschiedlicher Strenge (A-D).	Die hybriden Systeme könnten unterschiedlichen Anforderungskategorien (vergleichbar jenen der Luftqualität) genügen. Damit könnte es Systeme geben, die eine hohe Anforderungskategorie erfüllen (z. B. Systeme mit einem hohen mechanischen Anteil und / oder einer aktiven (maschinellen) Kühlung) und Systeme, die nur eine tiefere Kategorie erfüllen (z. B. Systeme mit einem hohen Anteil an natürlicher Lüftung). Die Anforderungskategorien müssten entsprechend dem Thema definiert werden. In einem ersten Schritt zur Überprüfung, könnten die Systeme für die hybride Lüftung aus Kap. 5.4 in mehrere Gruppen unterschieden werden, sodass eine beispielhafte Einsortierung möglich wird. Hinweis: es gibt in der internationalen Normung bereits Kategorien, diese sind ggf. zu berücksichtigen.

Einhaltung der Anforderungen: Nachweise durch Berechnung (Ansatz Planung):

Hier könnten unterschiedlich umfangreiche Nachweisverfahren angeboten werden, um die Einhaltung der Anforderungen nachzuweisen.

Als erstes Beispiel kann das Vorgehen für den sommerlichen Wärmeschutz in SIA 180:2014 [3] dienen:

- Checkliste: einfache Kriterien müssen erfüllt sein. Vermutlich nicht für alle Fälle anwendbar
- Nachweise / ausführliche Planung: Erfüllen Planungsvorgaben / grobe rechnerische Auslegung.
Für die meisten Fälle anwendbar
- Simulation: für alle Fälle anwendbar, aber aufwändig.

Wenn die Anforderungen gemäss einem der drei Nachweisverfahren erfüllt sind, sind automatisch auch die Zielvorgaben eingehalten. Es ist anzunehmen, dass nicht jedes Nachweisverfahren in allen Situationen angewendet werden darf. Es wäre zu definieren, in welchen Situationen z. B. die einfache Checkliste nicht angewendet werden darf.



Ein zweites Beispiel findet sich im (vorerst nicht-öffentlichen) Entwurf der prEN 15665:2022-09-30 [11]. Es wird ein zweistufiges Verfahren mit den Stufen «prescriptive approach» und «performance-based approach» vorgeschlagen.

Die oben aufgeführten drei Nachweisverfahren a) «Checkliste» und b) «Nachweise / ausführliche Planung» und c) «Simulation» können wie folgt zugeordnet werden:

«prescriptive approach» : zu a) und b),

«performance-based approach»: zu c).

Einhaltung der Anforderungen: Messung (Ansatz Resultat):

Wie für Simulationen (Verfahren c) stellt sich auch für Messungen die Frage, wie die Ergebnisse bewertet werden. Grundsätzlich kommen Mittelwerte / Grenzwerte, gewichtete Überschreitungen / Unterschreitungen für Parameter des Innenraumklimas (Temperaturen, Feuchte, CO₂ etc.) in Frage. Die verschiedenen Optionen wurden schon in [49] und werden auch in der prEN 15665:2022-09-30 [11] dargestellt.

Diese Fragestellung der Bewertung betrifft speziell das folgende Unterkapitel:

Behaglichkeit (6.2.5) mit den Unterthemen thermische Behaglichkeit im Sommer und im Winter sowie Raumlufthqualität.

Kommentare

Kommentar 1: Das Thema Raumlufthqualität wird auch in der Kommission 382 als wichtig erachtet. Das Nachweisverfahren soll in der (zukünftigen) SIA 180 gelöst werden. Die Überarbeitung der SIA 180:2014 ist geplant. Wie das Thema der natürlichen Lüftung in dieser Neufassung gehandhabt wird, ist derzeit noch offen. In prSIA 382/1:2022 [101] ist ein informativer Anhang zur Fensterlüftung vorgesehen, der bei adäquatem Ersatz (z. B. geplante SIA 382/3) wieder ausser Kraft gesetzt werden kann.

Kommentar 2: Insbesondere für NLS sind Performance-basierte Richtlinien und Vorschriften wohl wenig praktikabel, daher ist eher von einem Rückgriff auf komponenten-basierte Richtlinien und Vorschriften auszugehen.

Kommentar 3: Normative Hinweise für viele der unten aufgeführten Planungsthemen ergeben sich auch aus bestehenden (EN 15665:2009) und in sich in Bearbeitung befindlichen Dokumenten (u.a. prEN 15665:2022-09-30 [11]) der Normenkommission CEN TC 156 / WG 2. Auch in der DIN 1946-1:2019 [18] sind Berechnungsmethoden und Vorgaben vorhanden, die für die Formulierung von baulichen Anforderungen (z. B. auch auf Ebene der Komponenten) herangezogen werden könnten.



6.2.4 Bauliche Anforderungen (SIA 382/5, Kap. 2.1)

Luftdichtheit der Gebäudehülle (SIA 382/5, Kap. 2.1.2)

Tabelle 34: Luftdichtheit der Gebäudehülle / Bauphysikalische Anforderungen

Planungsthema	Luftdichtheit der Gebäudehülle / Bauphysikalische Anforderungen
Identifizierte Probleme / Verbesserungsbedarf resp.-potentiale	• Sind Aussenbauteil-Luftdurchlässe Bestandteil des Konzeptes, ergeben sich Fragen zum Einfluss dieser Undichtheiten auf die Funktion des Lüftungskonzeptes. • Aussenbauteil-Luftdurchlässe sind oft eine bauphysikalische Schwachstelle, die beachtet werden muss.
Hinweise zu Anforderungen und Lösungsansätze	• Im Lüftungskonzept müssen die Undichtheiten in vergleichbarer Weise mit einbezogen werden, wie dies bei einfachen Abluftanlagen erfolgt. • Derzeit gilt folgendes im Umgang mit ALD und Fensterlüftern und gebäudeinternen aktiven Überströmern oder passiven Überström-Luftdurchlässen bei der Luftdichtheitsprüfung: Die massgebende Norm SN EN ISO 9972 [102] beschreibt dafür drei verschiedene Testmethoden. In der Schweiz ist die Methode 2 die übliche, bei der alle absichtlich vorhandenen Öffnungen abgedichtet werden, sowie die Türen, Fenster und Falltüren geschlossen werden. Ein Beschrieb dieses Vorgehens ist z. B. in Tabelle 8 in [103] zu finden. • Bei Lüftungskonzepten mit ALD und Fensterlüftern könnte eine Messung mit ALD «zu» und eine Messung mit ALD «offen» erfolgen [86], Kap. 10.4.1 und Tab. 9.1. Anmerkung: In der praktischen Anwendung wurde im Projekt FENLEG eine solche Messung mit Fensterlüftern «zu» und «offen» versucht. Allerdings waren die Ergebnisse nicht plausibel. • Eine dichte Gebäudehülle erhöht den Anteil der ALD am Gesamt-Aussenluftvolumenstrom und verbessert damit die Regelbarkeit der eingebauten ALD [104], [28]. Sie ist damit Voraussetzung für einen Einbau [105]. Dies gilt auch für die Dichtheit der begrenzenden Bauteile einer Wohneinheit [28]. • Bauphysikalisch sind Aussenbauteil-Luftdurchlässe bezüglich ihrer Kondensat- und Schimmelpilzfreiheit zu beurteilen. Ergänzend sind weitere wichtige Punkte: allgemeine Hygiene (Verschmutzungsrisiko und Reinigbarkeit), Schalldämmmass, ev. Sturmsicherung. Zudem ist zu beachten, für welche Strömungsrichtung (aussen – innen oder innen – aussen) die ALD vorgesehen sind. Speziell bei der natürlichen Lüftung sind beide Strömungsrichtungen möglich).



Planungsthema	Luftdichtheit der Gebäudehülle / Bauphysikalische Anforderungen
Normative Lösungsansätze (vorhandene Normen)	• Ansätze zur Bewertung der Luftdichtheit der Gebäudehülle sind in SIA 180:2014 Kapitel 3.6 [3] beschrieben. • Die Bewertung bauphysikalischer Anforderungen können gemäss SIA 180:2014 Kapitel 6.2 vorgenommen werden. • In ABLEG [28], einem Forschungsprojekt zu Abluftanlagen in der energetischen Gebäudeerneuerung, wird vorgeschlagen für die Luftdichtheit die Zielwerte von SIA 180:2014 für Neubauten zu fordern.
Normative Lösungsansätze (Vorschlag)	• Für die Auswirkung von Undichtheiten auf die Wirksamkeit des Lüftungskonzeptes müssten die Bemessungsvorgaben in vergleichbarer Weise beschrieben werden wie dies für Abluftanlagen in SIA 382/5:2021 [1] Kapitel 5.4.2.1 erfolgt. • Für die Messung der Gebäudedichtheit ist ev. neben der Messung nach Verfahren 2 aus SN EN ISO 9972 [102] zusätzlich eine Messung nach Verfahren 3 zu fordern, um zusätzlich einen Wert zur Energieeffizienz des Gebäudes zu erhalten.
Offene Forschungsfragen	• Auswirkung der Undichtigkeiten auf die Lüftungswirkung für die verschiedenen Konzepte von hybriden Lüftungen?

6.2.5 Behaglichkeit (SIA 382/5, Kap. 2.2)

Thermische Behaglichkeit Winter: Aufenthaltsbereich / Raumlufttemperatur / Raumluftgeschwindigkeit (Winter) (SIA 382/5, Kap. 2.2.2 bis 2.2.5)

Tabelle 35: Möglichkeiten zur Reduzierung des Zugluft-Risikos

Planungsthema	Möglichkeiten zur Reduzierung des Zugluft-Risikos
Identifizierte Probleme / Verbesserungsbedarf resp.-potentiale	• Es treten Zugserscheinungen in der Nähe von Nachströmöffnungen (ALD und FL); FENLEG [34] / ABLEG [28] / ENABL [30] auf. Zugserscheinungen können das Abkleben der Nachströmöffnungen zur Folge haben, was wiederum andere Probleme mit sich bringt. Zum Beispiel Geruchsübertragungen durch Unterdruck in der Wohnung. • Interaktion mit Heizsystem: Es bestehen Unklarheiten, welche Heizwärmeabgabe in Kombination mit hybriden Lüftungen besonders geeignet ist. • Zugserscheinungen sind ein häufiges Problem. Für das Design und die Positionierung von FL fehlen oftmals Angaben zu Austrittsgeschwindigkeiten und Ausblasrichtung, zulässige maximale Geschwindigkeiten, Volumenstrombegrenzung.



Planungsthema	Möglichkeiten zur Reduzierung des Zugluft-Risikos
Hinweise zu Anforderungen und Lösungsansätze	• Wandparalleles Ausblasen bei FL [27], [30], [86]. • Wärmeabgabe über Heizkörper ist im Zusammenhang mit FL vorteilhafter als über Flächenheizungen, da so das Zugluftrisiko reduziert wird [30], [34]. • Anordnung hinter oder über einem Heizkörper [86], [106]. Wenn über einem Heizkörper, dann nur bei wandparalleler Lenkung des Luftstrahls [106], [30]. • Falzlüfter scheinen weniger Zugluftprobleme zu verursachen als FL oberhalb des Fensters [34]. • Einbau mehrerer FL in einem Raum mit pro FL kleineren Auslege-Luftraten, als Mittel zur Vermeidung von Zugluft-Problemen [106] (Nachteile: Kosten, Unterhalt...). • Anpassen/Steuerung des Öffnungsquerschnittes ALD/FL in Funktion der Temperaturdifferenz innen-aussen (in [107] linearer Ansatz von 5 -20 K). • Zusätzliche Massnahmen, z. B. feine lichtdurchlässige Gardinen [30] • Hindernisse oberhalb des ALD, z. B: Rollladenkasten, Vorhangbrett, Fenstersturz, können eine Umlenkung des (kühlen) Luftstrahls direkt in den Raum bewirken [30]. • Wenn sich kein Heizkörper in der Nähe der ALD befindet, so ist der Luftvolumenstrom auf 20 m³/h zu begrenzen. Mit einem Heizkörper ist eine Luftzufuhr von bis zu 40 m³/h (bei einer konvektiven Heizleistung von 400 W) möglich [106]. • Integration eines Heizregisters in den Aussenbauteil-Luftdurchlass. (Erwärmung Zuluft auf 18°C im Bürogebäude Bang & Olufsen [76]).
Normative Lösungsansätze (vorhandene Normen)	• Z. B. Präzisierung der Aufenthaltszone in SIA 180:2014 [3], Kapitel 2.1.2.4 (kritischer für NL): Abstand zur Fassade für verschiedene Fälle konkret festlegen (Fenster min. 1 m; ALD 0.5 m als Default). • Bei der mittleren lokalen Luftgeschwindigkeit differenziert SIA 180:2014 in Figur 5 zwischen NL und ML
Normative Lösungsansätze (Vorschlag)	• Klarstellung welche Komfortkriterien bei NL, ML resp. generell für HL gelten. • Ggf. unterschiedliche Anforderungen thermische Behaglichkeit für Betrieb NL resp. Betrieb ML?
Offene Forschungsfragen	• keine



Thermische Behaglichkeit Winter

Tabelle 36: Umgang mit Grenzen der natürlichen Lüftung bezüglich dauerhaft gekippten Fenstern

Planungsthema	Umgang mit Grenzen der natürlichen Lüftung bezüglich dauerhaft gekippten Fenstern
Identifizierte Probleme / Verbesserungsbedarf resp.-potentiale	Bei NL können in den Schlafzimmern die maximalen CO₂-Konzentrationen nur eingehalten werden, wenn ein Fenster gekippt ist [33]. Im Winter sinkt die Raumlufttemperatur ab, was zu Behaglichkeitseinbussen führt.
Hinweise zu Anforderungen und Lösungsansätze	Bei manueller Fensterlüftung wird das Fenster entweder vor dem Schlafen geöffnet oder geschlossen. Bei geöffneten Fenstern sinkt die Raumlufttemperatur bei tiefen Aussentemperaturen, bei geschlossenen steigt die CO₂-Konzentration [33]. Eine rein manuelle Fensterlüftung ist daher für Schlafzimmer ungeeignet.
Normative Lösungsansätze (vorhandene Normen)	Ein Lüftungskonzept, das während der Heizperiode eine permanente oder teilweise Öffnung der Fenster erfordert, ist gemäss SIA 180:2014 [3] nicht zulässig.
Normative Lösungsansätze (Vorschlag)	keine
Offene Forschungsfragen	keine



Thermische Behaglichkeit Sommer

Tabelle 37: Umgang mit Grenzen der natürlichen Lüftung bezüglich passiver Kühlung nachts und tagsüber

Planungsthema	Umgang mit Grenzen der natürlichen Lüftung bezüglich passiver Kühlung nachts und tagsüber
Identifizierte Probleme / Verbesserungsbedarf resp.-potentiale	- NL kann nicht immer eine ausreichende sommerliche Behaglichkeit gewährleisten [54, 55], [45], [46], weil z. B.: - am Tag $T_{\text{Luft-aussen}} > T_{\text{Luft-innen-zulässig}}$ - passive Kühlung durch Nachtlüftung zu wenig effektiv ist, dies wegen a) zu kleinen Luftraten, b) zu leichter Bauweise c) Tropennächte (Klima der Zukunft, siehe Tabelle 38). - Durch die Ansaugung von erwärmter Aussenluft in der Grenzschicht von sonnenbeschienenen Fassaden und durch direkt besonnte FL, resp. ALD, können Solareinflüsse an der Fassade zu einem signifikant wärmeren Raumklima bzw. einem bis 80 % höheren Kühlenergiebedarf führen. Passive Kühlung könnte in 2050 nur noch mit grossem Aufwand möglich sein [56]. - Bestehen im Lüftungssystem intern Verbindungen über mehrere Stockwerke, muss für die Dimensionierung der Lüftungsöffnungen ggf. auch die Lage der Neutralebene Innen- zu Aussendruck beim Kamineffekt berücksichtigt werden. Ev. strömt in oberen Teil des Gebäudes Innenluft nach aussen, nicht Aussenluft nach innen, was die Kühlwirkung reduziert [76]. - Nächtliche Auskühlung durch gekippte Bürofenster: Wenn manuell geöffnet, dann erfolgt die Öffnung meist vor Verlassen des Arbeitsplatzes (ab ca. 18 Uhr). Damit gelangt im Hochsommer noch sehr warme Luft in die Räume und verzögert die Auskühlung. Abhilfe: automatische Fensteröffner, Fensteröffnung ab 23 Uhr [67]. - Die Beurteilung des Nachtlüftungspotentials anhand von Meteostationsdaten muss im urbanen Umfeld wegen Wärmeinseleffekten, gegenseitiger Gebäudebeeinflussung und reduziertem Wind angepasst werden [56] (z.B. bis 6.5 K höhere Aussenlufttemperatur gegenüber Meteostation). - Nachtlüftung durch ML: Welche Parameter sind im Control zu wählen, um auf NL zurückzuschalten, wenn die Bedingungen (z. B. Druck Kamineffekt) für NL gegeben wären (IEA Annex 62 Case studies [46])? - Die Behandlung von passiver Kühlung mittels Simulation ist aufwändig und hängt von einer Vielzahl von Eingabeparametern ab, die z.T. schwierig festzulegen sind [56].



Planungsthema	Umgang mit Grenzen der natürlichen Lüftung bezüglich passiver Kühlung nachts und tagsüber
Hinweise zu Anforderungen und Lösungsansätze	• Nachtlüftung durch spezifische Fensterlüftung, möglichst durch automatisierte Fenster oder Lüftungsflügel, mit Eindringenschutz gegen Insekten, Tiere, Personen [77]. • Spezifische Fassadenöffnungen für die Nachtlüftung vorsehen [38]. • Positionierung FL/ALD an nicht direkt sonnenbeschienenen Orten/ Fassaden(-bereichen), Ansaugung ausserhalb Fassadengrenzschicht, Verwendung stark IR-reflektierender Fassadenoberflächen oder Fassadenbegrünung [56]. Bereiche mit sommerlicher Stauwärme und Beeinflussung durch den Sonnenschutz sind zu meiden [33]. • Ausnützen von Höhendifferenzen zwischen Öffnungen (Erhöhung Kamineffekt). • Neutralebene möglichst hoch im Gebäude halten, z. B. mittels grosser Öffnungen im obersten oder über dem obersten Stockwerk. • Ergänzender Einsatz von Abluftventilatoren. • Wenn vorhanden, mitbenutzen von Öffnungen für RWA (ggf. Anpassung des Antriebs nötig für deutlich höhere Anzahl Öffnungen/ Schliessungen). • Reduktion der empfundenen Temperatur durch erhöhte Luftgeschwindigkeit (z. B. mit Querlüftung) am Tage auch bei hohen Aussentemperaturen, gegenüber verstärkter Nachtlüftung und verringerter Aussenluftzufuhr sobald T-Luft-Aussen > T-Luft-innen. [67]. • Ein Lösungsansatz können speziellere Regelungen für NLS und HLS sein. Informationen zu innovativen, modellbasierten, prädiktiven Regelungen für HLS finden sich in [26]. Hinweise und «Lessons learned» zu diversen Regelungsansätzen und für zwei im Projekt RESHYVENT untersuchten Bürogebäuden mit HLS finden sich in [43]. Beispiele und Diskussion zu komfortorientierter Regelung von automatisierten Fenstern für Nachtlüftung finden sich in [108]; [109].
Normative Lösungsansätze (vorhandene Normen)	• In den SIA-Normen wird davon ausgegangen, dass die natürliche Lüftung mindestens bei Wohnbauten ausreicht. • SIA 180:2014 [3], Kap. 5.2.3 Nachweis der Nachtauskühlung. • Komfortkriterien Temperatur: In SIA 180:2014 gelten gemäss Corrigendum C2 die gleichen Anforderungen bei Betrieb NL resp. Betrieb ML (so lange nicht aktiv maschinell gekühlt wird) [82].
Normative Lösungsansätze (Vorschlag)	• Auslegung für NL gemäss SIA 180:2014 [3], Kap. 5.2.3 mit nach Komfortkriterien geregelter Unterstützung durch ML, oder für den geforderten Aussenluftvolumenstrom von $10 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$. Anmerkung: Die Revision von SIA 180:2014 ist geplant, die von SIA 382/1:2014 ist im Gange. In prSIA 382/1 ist ein informativer Anhang zur Fensterlüftung vorgesehen. Die oben gemachte Angabe aus SIA 180:2014 kann sich ggf. noch verändern.



Planungsthema	Umgang mit Grenzen der natürlichen Lüftung bezüglich passiver Kühlung nachts und tagsüber
Offene Forschungsfragen	• Wie gut, und ggf. wie rasch, passen sich Nutzende an die thermischen Verhältnisse an (Änderung clo-Wert), bei NL resp. ML? Hinweise in [63] (grosse Variation im Komfortempfinden), [100] (bessere Adaption als gemäss dem PMV-Modell nach Fanger). • Belastung der Luft im Nahbereich von ALD durch Fassadenbegrünung: Kann eine Fassadenbegrünung zu erhöhten Immissionen wie Pollen und Schimmelpilzsporen führen, die sich hygienisch ungünstig auf ALD und die Zuluft auswirken? Aspekte sind auch Allergene und ein mögliches vermehrtes Vorkommen von Insekten (die sich in ALD einnisten könnten). Welche Fassadenbegrünungen eignen sich (eignen sich nicht) für Fassaden mit ALD?

Tabelle 38: Umgang mit Klimawandel (Anforderungen)

Planungsthema	Umgang mit Klimawandel
Identifizierte Probleme / Verbesserungsbedarf resp.-potentiale	• Einfluss Klimawandel führt zu erhöhten Tages- und Nachttemperaturen, längeren Hitzeperioden, einer zunehmenden Anzahl von Tropennächten und Hitzetagen ([110]), mit negativem Einfluss auf Wohlbefinden, Gesundheit und Mortalität [111]. • Limiten für passive Kühlung durch Nachtlüftung: Einfluss des Klimawandels, Einfluss der Bauweise ([112], [55]). • Einfluss Klimawandel auf Wirksamkeit der NL für passive Kühlung [38].
Hinweise zu Anforderungen und Lösungsansätze	• Berücksichtigung Arbeiten zu Grenzen der passiven Kühlung durch Nachtlüftung [55]; [56]. • Berücksichtigung Resultate Projekt "ResCool" [111] (u.a. Grenzen passiver Kühlung, Komfort in der Nachtperiode). • Integration HLS in Kombination mit Kühlsystemen [58]; [113]. • Anforderungen an Bauweise: massive Wände und Decken; angepasste Fassaden- und Fensterflächen, Sonnenschutz. • Berücksichtigung Anforderungen stadtplanerische Massnahmen [114] (u.a. Kaltluftkorridore, Optimierung Baukörper, Entsiegelung, Grünräume, Wasserflächen, Albedo von Flächen und Fassaden, etc.).
Normative Lösungsansätze (Vorhandene Normen)	• keine
Normative Lösungsansätze (Vorschlag)	• Anpassung (d. h. Absenkung) der zulässigen maximalen Raumtemperaturen, insbesondere Anpassung obere Grenzwerte thermischer Komfort für Nachtperiode [111].
Offene Forschungsfragen	• Effiziente Konzepte und Regelungsstrategien für HLS in Kombination mit Kühlsystemen [57], [108], [115].



	• Sind die heutigen zulässigen maximalen Raumtemperaturen aus Gründen der thermischen Behaglichkeit und der Gesundheit anzupassen [111]?
--	--

Raumlufthqualität (SIA 2.2.5)

Allgemein: Die Anforderungen beziehen sich auf die RLQ-Parameter (CO₂, VOC, etc.) und Feuchte, die Luftmengen sind entsprechend zu liefern.

Tabelle 39: Anforderungen an die Raumlufthqualität

Planungsthema	Anforderungen an die Raumlufthqualität (CO ₂ , Feuchte...)
Identifizierte Probleme / Verbesserungsbedarf resp.-potentiale	• Beurteilung der RLQ bei variablen Konzentrationen und Luftraten (auch in verschiedenen Zeitmassstäben), z. B. wegen Wechsel HL – ML, wegen Fensterlüftung, etc. [49], [50], [116]. • VOC berücksichtigen? Wenn ja, wo (in Toiletten), wie? • Dimensionierung der FL/ automat. Fenster etc. entsprechend der ggf. recht unterschiedlichen geforderten Luftmengen für die RLQ und andererseits für die passive Kühlung durch Nachtlüftung.
Hinweise zu Anforderungen und Lösungsansätze	• Sensorisch gesteuerte ALD, FL, automatische Lüftungsflügel oder Fenster. • Regelungsstrategien, die z. B. den Öffnungsgrad nach Innen- und Aussenbedingungen und/oder nach Komfort- und RLQ-Kriterien regeln. Beispiele für diese Strategien finden sich in [108] mit Simulationen und einem Beispielprojekt. • Ev. Regelung sowohl nach Feuchte als auch CO₂? (das Beispiel eines MHF Genf findet sich in [63]); prEN 15665:2022-09-30 [11] nennt diese beiden Grössen als mögliche Variablen für die Steuerung/Regelung. • Bewertung mittels Zielwertabweichung der Raumlufthparameter (Feuchte, CO₂, VOC) mittels einer «relativen Zielwertabweichung» gemäss dem Vorschlag in [117], Kap. 4.3.3., Abschnitt A.



Planungsthema	Anforderungen an die Raumlufthqualität (CO ₂ , Feuchte...)
Normative Lösungsansätze (vorhandene Normen)	- Die Raumlufthklassen werden gem. SIA 382/1:2014 [2] in RAL Klassen aufgeteilt (Anmerkung: in prSIA 382/1:2022-06 [101] werden IDA Klassen definiert). Es ist festzulegen ob ohne besondere Vereinbarung auch für NL und HL Raumlufthklasse RAL 3 gilt. - In DIN 1946-6:2019 [18] werden Basisanforderungen an die Raumlufthqualität an NL gestellt (wobei hier klar gesagt wird, dass eine Aussenluftfilterung bei Fensterlüftung nicht möglich ist, die Anforderungen gelten eher für Schachtlüftungen) und erhöhte Anforderungen an die Zuluftqualität bei ML [87]. - Sofern Grenzen für die einzelnen Parameter festgelegt werden, könnte eine Bewertung analog der Vorschläge in SNG CEN/TR 16798-2:2019, Anhang D und E [25] erfolgen. Es werden drei Methoden vorgeschlagen, die alle auf eine Langzeitbewertung der Grössen zielen. Auch im Entwurf für prEN 15665: 2022-09-30 [11] (Anhang I) sind Methoden für die Bewertung angedacht. Hier ist die finale Fassung abzuwarten. Im Paper von Li et. al. [118] wird die Langzeitbewertung von normativen Komfortindizes untersucht und es werden Empfehlungen gegeben (Überschreitungseignisse korrelieren besser mit Nutzerbeurteilungen als gemittelte Komfortwerte).
Normative Lösungsansätze (Vorschlag)	- Berücksichtigung Revision SIA 382/1:2014 (in prSIA 382/1:2022-06 [101] geforderte IDA Klassen, informativer Anhang Fensterlüftung/Kühlung durch Nachtlüftung). Anmerkung: Derzeit können noch keine verbindlichen Angaben zur geplanten Überarbeitung gemacht werden. - Beurteilung der RLQ bei variablen Lüfraten und Behandlung von Grenzwertüberschreitungen: Verschiedene Methoden und Kennwerte sind erläutert in prEN 15665:2022-09-30 [11], z. B. Mittelwert Konzentration über Belegungszeit; Anzahl oder Dauer der Überschreitungen; Maximal erreichte Werte; Dosis oder Überschreitungsdosis (Konzentration über Grenzwert x Zeit).
Offene Forschungsfragen	- Für normative Beurteilung RLQ: Fokus auf welche Methoden resp. Parametern (Momentanwerte, Mittelwerte (rollend, über welche Perioden?)); Grenzwertüberschreitungen, siehe Kapitel 6.2.3. Prüfung der bestehenden normativen Ansätze auf Praxistauglichkeit. - Wie können die Anforderungen überprüft werden? - Entsprechende Umsetzung, Erfahrungen in der Praxis? - Unter welchen Bedingungen kann Feuchte als RLQ-Indikator verwendet werden? Wäre relative Feuchte ein gleichwertiger RLQ Indikator wie CO₂ [75] ?



Raumlufffeuchte (SIA 382/5, Kap. 2.2.6)

Tabelle 40: Raumlufffeuchte Winter

Planungsthema	Raumlufffeuchte Winter
Identifizierte Probleme / Verbesserungsbedarf resp.-potentiale	• Im Winter zu trockene Luft in Wohnbauten. • «Je tiefer die Aussentemperatur desto tiefer muss auch die rel. Raumlufffeuchte sein, damit kein Schimmelrisiko entsteht. Gleichzeitig muss aber die minimale Raumlufffeuchte(bis 800 m ü.M. 30 %) eingehalten werden.» [119] S.17. Gemäss [119] kann es an Standorten wie z. B. Zürich oder Davos ohne Feuchterückgewinnung je nach Konzept an mehr als 10 % der Nutzungszeiten zu Unterschreitungen der minimalen Raumlufffeuchten kommen. • Höhere Luftmengen ergeben tiefere Raumlufffeuchten im Winter (Kommentar: einfache Lüftungsanlagen mit Feuchterückgewinnung können zu einer Abschwächung des Problems beitragen. Allerdings führen auch hier zu hohe Luftraten zu einer trockenen Raumluff.). Bei Systemen mit einer wesentlichen Unterstützung durch den Stackeffekt (z. B. Schwerkraftlüftung) und ohne ist der Aussenluftvolumenstrom bei tiefen Aussentemperaturen am grössten, die Problematik der zu trockenen Luft wird daher eher verschärft. • Allgemeine Anmerkung zum Zusammenhang von NL und dem Luftvolumenstrom bei tiefen Aussentemperaturen: Bei der manuellen Fensterlüftung ist der Zusammenhang, dass sich bei tiefen Aussentemperaturen hohe Luftmengen ergeben (und damit die Raumlufffeuchte tief ist) nicht unbedingt vorhanden. Es kann sogar beobachtet werden, dass Fenster bei tiefen Aussentemperaturen weniger oft geöffnet werden, da die Nutzenden bei tiefen Temperaturen tendenziell weniger lüften [120]. Ein Grund dürfte die thermische Behaglichkeit sein, ev. spielt die Raumlufffeuchte auch eine Rolle. Die Infiltration nimmt mit sinkender Aussentemperatur zu. Auch bei Abluftanlagen mit (ungeregelten) ALD ist davon auszugehen, dass der zunehmende Stackeffekt zu einem Anstieg der Aussenluftrate führt (geschätzt im Bereich von 10 bis 20 % zwischen Sommer und tiefen Aussentemperaturen). Feuchtgeregelte ALD können diesem Effekt entgegenwirken.
Hinweise zu Anforderungen und Lösungsansätze	• Wenn im Winter überwiegend ML zum Einsatz kommt, ist eine Feuchterückgewinnung zu empfehlen. • Erfahrung mit feuchteadaptiven ALD (zwei MFH) [28]: Wenn der Luftvolumenstrom durch die ALD in Abhängigkeit von der Innenraumfeuchte geregelt wird, bleibt die Luftfeuchtigkeit im Rahmen der Empfehlung SIA 180:2014 [3]. Allerdings wird der hygienisch erforderliche Luftwechsel in drei von vier Wohnungen unterschritten. Bei feuchteadaptiven ALDs treten vor allem im Bereich um 50 % relativer Feuchte Zielkonflikte zwischen Raumluffqualität und der Regelgrösse der Raumlufffeuchte auf, da die Korrelation nicht stark ausgeprägt ist [33].



Planungsthema	Raumluftfeuchte Winter
Normative Lösungsansätze (vorhandene Normen)	- Anforderung Raumluftfeuchte (Winter): SIA 180:2014 [3], Abschnitt 3.5.1.3, S. 31 ff: «In beheizten oder mechanisch belüfteten Räumen darf in Höhenlagen bis 800 m ü. M. die relative Raumluftfeuchte eine Grenze von 30 % während maximal 10 % der jährlichen Nutzungszeit unterschreiten.» Wenn mit bestimmten Massnahmen dieser Wert überschritten wird, ist eine aktive Befeuchtung gestattet. Gemäss SIA 180:2014 ist dies also auch für Gebäude mit NL zu überprüfen. Die kantonale Gesetzgebung verbietet eine Befeuchtung allerdings teilweise. Der Nachweis für die Notwendigkeit (untere Feuchtegrenze unterschritten) ist auf jeden Fall zu erbringen. SIA 180:2014 [3] gibt in Anhang C.3 normative Hinweise zu den Simulationsrandbedingungen. Energieverbrauch und Hygiene sind zu beachten. - DIN 1946-6:2019 [18] schlägt in Abschnitt 8.4 vor, dass bei einem Unterschreiten der relativen Feuchte von 30 % der Volumenstrom auf die «reduzierte Lüftung» (z. B. Luftmengen bei Abwesenheit der Nutzenden) eingestellt werden kann. - In EN 16798-1:2019 wird die Haltung vertreten, dass allgemein in Wohnbauten in der Regel keine Befeuchtung der Luft notwendig ist [14] Anhang B , Kap. 3.3.
Normative Lösungsansätze (Vorschlag)	Die untere (und die obere) Grenze für die Raumluftfeuchte ist derzeit mit einer gewissen Unsicherheit behaftet. Diese Fragestellung, und welche Werte in die zukünftige Normung einfließen sollen, wird in [121] angesprochen (aber nicht geklärt).
Offene Forschungsfragen	keine

Bautenschutz

Hintergrund: In welchen CH-Normen wird das Thema Schimmel berücksichtigt?

- SIA 180:2014 [3], Kap: 3.5.1.1 und -2: Grenzwerte für min. und max. Raumluftfeuchte, dort Verweis auf 6.2.1.4 (Zusammenhang max. zulässige rel. Feuchte der Raumluf, Aussenlufttemperatur und Aussenluftvolumenstrom, Vorgabe von Tagesmitteln, die nicht überschritten werden dürfen). Das relevante Kapitel ist 6.2.
- SIA 382/1:2014 [2], Verweis auf SIA 180:2014.
- SIA 382/5: 2021 [1]: Feuchteschutzluftwechsel: SIA 180:2014.
- In zwei Berichten im Auftrag des BAG zum Thema Feuchteproduktion [121], [122]. Fazit dieser Berichte: Es fehlt ein Berechnungsverfahren in der SIA 180:2014 zur zeitgemässen Festlegung tatsächlicher Feuchteinträge durch Personen und andere Quellen. Heutige Berechnungen für den erforderlichen Aussenluftwechsel für den Feuchteschutz sind mit erheblichen Unsicherheiten behaftet.



Tabelle 41: Schimmel

Planungsthema	Schimmel
Identifizierte Probleme / Verbesserungsbedarf resp.-potentiale	• Beim Ersatz von alten undichten Fenstern mit neuen Fenstern mit umlaufenden Dichtprofilen kann es sein, dass der Feuchteschutzluftwechsel nicht mehr passiv durch Gebäudeundichtheiten gewährleistet ist [86], [123]. • Bei (luftdichten) Neubauten ist das Risiko für Schimmel erhöht: bei einer hohen Belegung, bei hohen Feuchtelasten und in Mehrfamilienhäusern (da hier die Lüftung durch thermischen Auftrieb geringer als in Einfamilienhäusern ist) [124]. • In Kellerräumen von Bestandsgebäuden (ausserhalb des Dämmperimeters) besteht ein Schimmelrisiko, wenn der Keller permanent über gekippte Fenster belüftet wird [37]. • Bei Anlagen mit (nicht regelbarer) Feuchterückgewinnung kann vor allem bei Sanierungen (Wärmebrücken mit $f_{rsi} \leq 0.7$) die Gefahr der Schimmelbildung infolge Überfeuchtung bestehen [117]. • Gerade bei HLS ist die Lösung zur Feuchteschutzlüftung herausfordernder, da erforderliche Luftmengen ggf. nicht garantiert werden können. Region (Tessin höheres Risiko) beachten und Jahreszeit (Sommer höheres Risiko) [122].
Hinweise zu Anforderungen und Lösungsansätze	• Lüftungskonzept entsprechend anpassen. Feuchteschutzlüftung zur Vermeidung von Schimmel konzipieren. • Achtung: Abgeraten wird davon, die Dichtgummis nachträglich zu perforieren, bzw. partiell auszuschneiden, da so andere Probleme auftreten können (z. B. Schäden durch Kondensat im Fensterbereich, Probleme mit Schallschutz). • Achtung: Abgeraten wird von nur über den Lichtschalter betriebene Abluftventilatoren. Die Laufzeiten sind in der Regel zu kurz und die Durchlüftung ist damit zu gering [86]. • Bei Kellerräumen in Bestandsgebäuden empfiehlt sich die Lüftung über einen Taupunktwatcher (alternativ Luftentfeuchter im Umluftbetrieb, Nachteil: zu hoher Energiebedarf) [37]. • Im Projekt «Lüftungskonzept Österreich» wird ein Nachweisverfahren auf Basis einer Microsoft-Excel Tabelle erarbeitet und vorgestellt, welches zeigt, ob eine natürliche Lüftung bzw. Fensterlüftung bei einer Standardnutzung zur Vermeidung von Schimmelbildung ausreichend, bzw. in Hinblick auf eine ausreichende hygienische Luftqualität den Nutzern zumutbar ist [125].
Normative Lösungsansätze (vorhandene Normen)	• SIA 180:2014 [3], Vorgabe minimaler Luftvolumenstrom Feuchteschutz (Abschnitte 3.5.3.1 und 6.2.3.1). • DIN/TS 4108-8:2022-09 [20]: Thema ist das Schimmelwachstum in Wohngebäuden und speziell die Rolle des Nutzers bei der Vermeidung.



Planungsthema	Schimmel
	DIN 1946-6:2019 [18]: Gibt für Wohnnutzungen Auslegungskriterien vor, um die Notwendigkeit eines nutzerunabhängigen Lüftungssystems zum Feuchteschutz zu ermitteln (Kap. 4).
Normative Lösungsansätze (Vorschlag)	Ggf. Überarbeitung SIA 180:2014 abwarten.
Offene Forschungsfragen	Erarbeitung von einer auf der Literatur oder Messung basierenden Festlegung tatsächlicher Feuchteinträge durch Personen und andere Quellen.

Akustische Behaglichkeit und Schallschutz (SIA 382/5, Kap. 2.2.7)

Tabelle 42: Nachströmöffnungen gegen aussen

Planungsthema	Nachströmöffnungen gegen aussen: Ausbildung, sinnvolle Lösungen, Anforderungen
Identifizierte Probleme / Verbesserungsbedarf resp.-potentiale	- Es treten Lärmstörungen durch die Öffnungen in der Fassade auf [28]. Grundsätzlich müssen die Anforderungen an den Luftschall und an das bewertete Bau-Schalldämmmass eingehalten werden [119]. Siehe auch [30] Kap. 4.5, Einfluss Element-Normschallpegel-differenz ALD (häufige Angabe von Herstellern) und Zusammenhang mit Schalldämmmass der gesamten Fassade (relevant für akustische Beurteilung). Für FL wird die Beurteilung in [123], Kap. 3.3 thematisiert. - Lärm von aussen: In einer Nutzerbefragung zu FL nimmt mehr als die Hälfte der Befragten Geräusche von aussen «manchmal» oder «immer» als Störung wahr. An lärmbelasteten Standorten ist daher der Einsatz von FL kritisch zu hinterfragen [34].
Hinweise zu Anforderungen und Lösungsansätze	- Aussenbauteil-Luftdurchlass mit hohem Schalldämmmass (Vorsicht Problematik hoher Druckverlust). - Platzierung der Nachströmöffnung wenn möglich schalltechnisch optimieren. - Aussenbauteil-Luftdurchlässe stellen bei Beurteilungslärmpegeln bis 60 dB (A) am Tag kein schalltechnisches Problem dar. Bei 60 dB (A) nachts ist die Einhaltung nicht selbstverständlich erreichbar. Dies gilt speziell, wenn zwei ALD pro Raum vorhanden sind [28].
Normative Lösungsansätze (vorhandene Normen)	- Klare Definition, ab welcher Lärmbelastung Fensterlüfter eingesetzt werden dürfen (existiert in manchen Kantonen bereits indirekt über Subventionen). - Die Anforderungen ergeben sich aufgrund der erforderlichen Querschnitte (vgl. Tabelle 60, Tabelle 61), Schalldämmung sowie der Anforderungsstufe, Lärmbelastung, Lärmempfindlichkeit nach SIA 181:2020 [21]. - Schallschutznachweis mit reduziertem Schalldämm-Mass (inkl. Aussenbauteil-Luftdurchlass) nach SIA 181:2020 [21].



Planungsthema	Nachströmöffnungen gegen aussen: Ausbildung, sinnvolle Lösungen, Anforderungen
Normative Lösungsansätze (Vorschlag)	• Definition maximale Lärmbelastung und minimales Schalldämm-Mass für den Einsatz von Nachströmöffnungen.
Offene Forschungsfragen	• keine

Tabelle 43: Überströmöffnungen gegen innen

Planungsthema	Überströmöffnungen gegen innen: Ausbildung, sinnvolle Lösungen, Anforderungen
Identifizierte Probleme / Verbesserungsbedarf resp.-potentiale	• Das Konzept der Grundlüftung von Minergie mit zentraler Luftzuführung (nur für Modernisierungen) setzt voraus, dass teilweise Zimmertüren offen stehen. Dies, und die Notwendigkeit der Fensterlüftung bei geschlossenen Türen, ist stark vom Nutzerverhalten beeinflusst [35]. Wie wird damit umgegangen? Z. B. dass dies nur zulässig ist, wenn die Bewohner:innen die Möglichkeit haben, mindestens nachts ein Fenster zu öffnen? • Schallübertragung intern zwischen den Räumen, resp. Schwächung des Schalldämm-Masses.
Hinweise zu Anforderungen und Lösungsansätze	• Das Thema Überströmungen und Schalldämmmass wird in [119], Kap. 3.8 behandelt. Es werden Hinweise zur Bewertung von Herstellerangaben gegeben (Vergleich Überströmluftdurchlass in der Türe mit Luftspalt unter der Türe). Fazit: Hohe Ansprüche an das Schalldämm-Mass lassen sich nur schwer mit Überströmdurchlässen erreichen, da sie nur 1 Pa Druckabfall verursachen dürfen (Kap. 4.2).
Normative Lösungsansätze (vorhandene Normen)	• SIA 382/5:2021 [1] schliesst Räume mit Überström-Luftdurchlässen von Anforderungen an den Luftschallschutz von Trennbauteilen aus (siehe Kap. 2.2.7.8).
Normative Lösungsansätze (Vorschlag)	• Definition von minimalem Schalldämm-Mass für Innenwände mit Überström-Elementen resp. Türspalt.
Offene Forschungsfragen	• keine



Tabelle 44: Lärmemissionen Lüftungsanlagen (innen)

Planungsthema	Lärmemissionen Lüftungsanlagen (innen)
Identifizierte Probleme / Verbesserungsbedarf resp.-potentiale	• Bei intermittierend arbeitenden Lüftungsgeräten wird der Wechsel der Betriebsmodi als störende Lärmbelastung empfunden [34]. • Anlagengeräusche: Eine Nutzerbefragung zeigt, dass die permanent betriebenen Anlagen von den Nutzern in Bezug auf Lärm etwas besser bewertet werden [34]. Zu laute, permanent laufende Abluftventilatoren werden von Nutzern eigenständig ausgeschaltet (in 14 von 30 Wohnungen) [86]. • Schallübertragung intern zwischen den Räumen, resp. Schwächung des Schalldämm-Masses durch Lüftungselemente.
Hinweise zu Anforderungen und Lösungsansätze	• Achtung: von absichtlicher Einregulierung zu kleiner Luftvolumenströme, um Geräuschprobleme in den nahe beim Ventilator gelegenen Bereichen zu vermeiden, ist abzuraten [86]. • Lüftungsgeräte resp. Verteilleitungen, Durchlässe grosszügig dimensionieren. • Schalldämpfer verwenden.
Normative Lösungsansätze (vorhandene Normen)	• Die Anforderungen sind in der SIA 382/5:2021 [1], Kap. 2.2.7.2 Tabelle 1 definiert resp. In SIA 181:2020 [21].
Normative Lösungsansätze (Vorschlag)	• keine
Offene Forschungsfragen	• keine

6.2.6 Energiebedarf (SIA 382/5, Kap. 2.3)

In diesem Abschnitt werden grundsätzliche Anforderungen an den Energiebedarf bzw. an dessen Berechnung und dem damit verbundenen Einbezug von Wärmerückgewinnung und Abwärmenutzung behandelt.

Grundsatz: Der Energiebedarf wird für das Gesamtsystem (ML + NL) definiert und bewertet.

Anforderungen an aktive Komponenten der ML wie z. B. Ventilatoren werden hier nicht behandelt. Sie sind gemäss SIA 382/1:2014 [2] bzw. den entsprechenden EN Normen zu beurteilen. Passive Komponenten, wie z. B. ALD werden nicht in Bezug auf Energieeffizienz der Einzelkomponente behandelt. Die kritischen Anforderungen bei diesen Komponenten liegen hier vor allem im bauphysikalischen Bereich (ALD als Wärmebrücke).



Tabelle 45: Anforderungen an den Energiebedarf

Planungsthema	Anforderungen an den Energiebedarf
Identifizierte Probleme / Verbesserungsbedarf resp.-potentiale	• Welcher Trade-off zwischen Einhaltung thermischer Behaglichkeit und Optimierung Energieverbrauch ist zu empfehlen? • Falsche Auslegung eines Lüftungskonzepts (zu hohe Luftmengen, zu kleine Nachströmöffnungen, zu grosser Unterdruck [34]). • Luftmengen nicht bedarfsgerecht, Aussenbauteil-Luftdurchlässe und/oder Fensterlüfter mit einem schlechten U-Wert schwächen eine gut gedämmte Gebäudehülle; FENLEG [34] / «Abluft und Einzelraumlüftungen im Vollzug Energie» [29] / «2000-Watt-Leuchtturm-Areal «mehr als wohnen» [61] / ENABL [30]. • Einfluss Fensteröffnungsverhalten der Nutzenden bei hybrider Abluftanlage mit FL und/oder ALD auf Energiebedarf. Beispiele: In [63] mit FL und ALD werden Fenster während der Heizperiode v.a. im NL Mode geöffnet, um Behaglichkeit und RLQ akzeptabel zu halten. Der PE-Bedarf ist aber vergleichbar mit MLS mit WRG, mit PE-Faktor Strom = 2.5). Auch bei Systemen mit ML in Verbindung mit ALD erfolgt die Lüftung über die Fenster wie die Analysen in [62] zeigt. Das Lüftungsverhalten korreliert dabei mit der Aussentemperatur [62]. Die im selben Projekt festgestellten Differenzen zwischen Planungswert und Messwert beim Wärmebedarf könnten auf diese zusätzliche (in Standardberechnung nicht berücksichtigte) Fensterlüftung zurückzuführen sein [61]. Einfluss der Regelung Fensteröffnung auf Energiebedarf für HLS [57]. • In Rechenvorschriften zu den Energienachweisen wird den HLS nicht ausreichend Rechnung getragen (z. B. Lösungen nach MuKEN:2014 [22]). Die Thematik wird im Kapitel 6.5.5 in • Tabelle 68 detaillierter behandelt.
Hinweise zu Anforderungen und Lösungsansätze	• Ein Vergleich für den Energiebedarf und die Kosten von drei verschiedenen HL Konzepte in Bürogebäuden (1. Zentrale Abluft mit in Radiatoren integrierte ALD mit CO₂-Steuerung, 2. Zwei ML Systeme, die mit Heizung und Kühlung den Winter und Sommer abdecken (mit WRG) und in den Übergangszeiten nur be- und entlüften und 3. Heizung und Kühlung im Winter (mit WRG) und Sommer, und ALD und FL für die Übergangszeiten) findet sich in [44]. • Für die Beurteilung der Anforderungen ist eine Bewertung zusammen mit dem Heizsystem und dem Aufwand für die Luftförderung notwendig. Als Basis dafür kann z. B. das MuKEN:2014 [22] Berechnungsformular EN-101b dienen.



Planungsthema	Anforderungen an den Energiebedarf
Normative Lösungsansätze (vorhandene Normen)	• Berechnungsmethoden für elektrischen und thermischen Energiebedarf bei NL und HL: SIA 382/2:2011 [126] verweist für ein vereinfachtes dynamisches Berechnungsverfahren auf SIA 2044:2019 [127]. Für Fensterlüftung wird darin auf die Berechnung nach dem vereinfachten Verfahren gemäss SN EN 16798-7:2017 [12] verwiesen. • Berechnungsverfahren für den Aussenluftwechsel finden sich in Tabelle 60.
Normative Lösungsansätze (Vorschlag)	• Vorschlag für Berechnungsansatz siehe Kapitel 6.5.5, • Tabelle 68
Offene Forschungsfragen	• keine

Tabelle 46: Wärmerückgewinnung und Abwärmenutzung

Planungsthema	Wärmerückgewinnung und Abwärmenutzung: Anforderungen an energetische Wirksamkeit und Möglichkeiten (bei neuen Anlagen und Möglichkeit der Nachrüstung bei bestehenden Anlagen)
Identifizierte Probleme / Verbesserungsbedarf resp.-potentiale	• Die Bewertung der Wärmerückgewinnung und Abwärmenutzung muss die verschiedenen Typen von HL (alternativ, unterstützend, Definition siehe Kap. 5.2) behandeln können. Dabei ist zu klären, inwieweit sichergestellt werden kann, dass die Anlage entsprechend der Planung betrieben wird (z. B. bei alternativ betriebenen Systemen). • Die Bewertung der Wärmerückgewinnung und Abwärmenutzung muss auf Stufe Primärenergie und über das ganze Jahr erfolgen, um eine sinnvolle Vergleichsbasis zu rein ML mit WRG zu erhalten. Dies zeigen z. B. die Messresultate im MFH Genf [63]. • Eine vereinfachte Berechnung des thermischen Energiebedarfs von Lüftungsanlagen gemäss SIA 382/5:2021 [1] Kap 2.3.3 wird in diesen Fällen nicht anwendbar sein. Eine stundenweise Berechnung des Energiebedarfs mit entsprechenden Eingabeparametern ist aufwendig (nur für komplexe Objekte sinnvoll anwendbar).



Planungsthema	Wärmerückgewinnung und Abwärmenutzung: Anforderungen an energetische Wirksamkeit und Möglichkeiten (bei neuen Anlagen und Möglichkeit der Nachrüstung bei bestehenden Anlagen)
Hinweise zu Anforderungen und Lösungsansätze	• Die Möglichkeit der Abwärmenutzung bei hybriden Lüftungsanlagen sollte geprüft werden. Die Bewertung des Nutzens einer Abwärmenutzung muss immer im Rahmen einer Gesamtbetrachtung mit dem Heizsystem erfolgen (z. B. Primärenergie). • Berechnung und Normierung typischer Fälle mit einigen wenigen (wesentlichen) variablen Parametern. Erarbeiten eines vereinfachten Berechnungsverfahrens dafür. • Wenn im Konzept der HL Fälle mit Disbalancen im Betrieb vorkommen, muss dies in der Berechnung berücksichtigt werden. • Für die Beurteilung der Wärmerückgewinnung muss für das System die thermisch wirksame Aussenlufrate ermittelt werden (aus vereinfachtem oder detailliertem Berechnungsverfahren). Für die Bewertung kann dieser Wert in das MuKEn:2014 [22] Berechnungsformular EN-101b übernommen werden.
Normative Lösungsansätze (vorhandene Normen)	• SIA 380/1:2016 (Kap. 3.5.5) [23]; SN EN 16798-5-2:2017 (Kap 6.4.3.7) [17].
Normative Lösungsansätze (Vorschlag)	• Ein klares und einfach durchzuführendes Verfahren für die Bestimmung der thermisch wirksamen Aussenlufrate (inkl. WRG) der hybriden Lüftungsanlagen müsste wie z. B. in SIA 380/1 festgelegt werden. Das Verfahren kann auf den für ML verwendeten WRG Kenndaten beruhen, muss aber z. B. durch ein vereinfachtes, normativ festgelegtes Kennwertmodell oder aber durch Simulation (detailliert) für die projektierte HL umgerechnet (korrigiert) werden. • Vorschlag für Berechnungsansatz siehe Kapitel 6.5.5, • Tabelle 68.
Offene Forschungsfragen	• keine

6.2.7 Lebensdauer, Betriebssicherheit und Brandschutz (SIA 382/5, Kap. 2.4)

Tabelle 47: Brandschutz

Planungsthema	Brandschutz
Identifizierte Probleme / Verbesserungsbedarf resp.-potentiale	• Der Brandschutz ist bei Hochhäusern durch die potenzielle Schwächung der Aussenwand durch ALD/FL ein Problem (siehe auch «Normative Lösungsansätze»). • Konflikte bestehen aus Brandschutzsicht (vor allem bei Gewerbegebäuden) wenn Korridore für die Luftverteilung genutzt werden sollen. Gemäss der VKF Brandschutzrichtlinie «Lufttechnische Anlagen» [128] dürfen Fluchtwege nicht als Ersatz für Lüftungsleitungen verwendet werden. Diese Schwierigkeit in der Planung wurde z. B. auch in [129] für die Lüftung von Schulbauten festgestellt.



Planungsthema	Brandschutz
Hinweise zu Anforderungen und Lösungsansätze	• Brandschutz Abluft: (CO₂- oder feuchtegesteuerte) hybride Abluftdurchlässe in Abluftkanal in MFH auch als Brandschutzklappe? (siehe z. B. Aereco Ventisafe). • Kombination hybride Lüftung mit RWA-Anlagekomponenten? • Die kantonalen Vorschriften, bzw. Auflagen sind ggf. gesondert zu beachten. • Die Lüftungstechnischen Anlagen sind in der Brandschutznorm des VKF Anhang 17 vom 01.01.2017 [130] geregelt, auf natürliche Lüftung wird nicht eingegangen.
Normative Lösungsansätze (vorhandene Normen)	• Brandschutz Hochhäuser und ALD: Stand der «Technik-Papier Wohnungslüftung» von GKS [131]: Hinweise zu Abluftanlagen resp. ALD finden sich auf den Seiten 52 und 53. Die aufgeführten Anforderungen sind erfüllbar. Zu Brandriegeln wird dort keine Aussage gemacht. «Brandschutzrichtlinie Lufttechnische Anlagen» (VFK): Hier werden keine Anforderungen an ALD gestellt. Fazit: Der Einsatz von ALD ist nach derzeitigem Wissen grundsätzlich möglich.
Normative Lösungsansätze (Vorschlag)	• keine
Offene Forschungsfragen	• Welche Lösungen zur Luftführung / Überströmung in Korridorbereichen sind aus Brandschutzsicht möglich / zulässig?



6.2.8 Fazit für die Praxis: Projektierung – Anforderungen

Für HL sind zurzeit noch keine normativen Planungsvorgaben vorhanden, zudem ist der Planungsablauf komplexer und die Verantwortungen sind meist nicht konkret definiert.

Folgende Punkte sollten bei einem HL-System geklärt werden:

- Bedürfnisse des Auftraggebers / der Nutzenden
- Projektorganisation
- Projektpflichtenheft
- Inbetriebnahmekonzept
- Bewirtschaftung

Die Anforderungen in Bezug auf mechanische Lüftungssysteme sind in SIA 382/1:2014 [2] und speziell für Wohnbauten in SIA 382/5:2021 [1] definiert. Welche dieser Anforderungen «wann», «wie» und «wo» für hybride Lüftungssysteme gelten ist zu klären. Es empfiehlt sich, die undefinierten Punkte vorab in einer vertraglichen Vereinbarung festzuhalten.

Folgende Punkte sollten beispielsweise enthalten sein:

- Bauliche Anforderungen (Luftdichtheit der Gebäudehülle)
- Behaglichkeit (Thermische Behaglichkeit Winter / Sommer, Luftqualität)
- Energiebedarf (Energiebedarf / Abwärmenutzung / Wärmerückgewinnung)
- Lebensdauer (Betriebssicherheit und Brandschutz)
- Rolle Nutzer

6.3 Projektierung – Auslegungskriterien (SIA 382/5, Kap. 3)

6.3.1 Allgemeines (SIA 382/5, Kap. 3.1)

Als allgemeiner Grundsatz wäre anzustreben, dass die Auslegung hybrider Lüftungssysteme nicht zu kompliziert wird. Vorstellbar wäre ein dreistufiges Verfahren (1. Checkliste, 2. Grobe rechnerische Auslegung, 3. Simulation), ähnlich dem bereits etablierten Verfahren beim sommerlichen Wärmeschutz.

6.3.2 Aussenbedingungen (SIA 382/5, Kap. 3.2)

Aussenklima (SIA 382/5, Kap. 3.2.1)

Tabelle 48: Aussenklima in der Planung

Planungsthema	Aussenklima in der Planung
Identifizierte Probleme / Verbesserungsbedarf resp.-potentiale	• Der Einfluss des Klimawandels führt zu erhöhten Nachttemperaturen und längeren Hitzeperioden. Damit wird die passive Kühlung durch Nachtlüftung limitiert ([112], [55]). • Hybride Systeme sind vom Aussenklima abhängiger als Konzepte, die nur auf ML basieren [44].



Planungsthema	Aussenklima in der Planung
Hinweise zu Anforderungen und Lösungsansätze	• Typische Auswirkungen von Aussentemperatur und Wind auf zu erwartende Druckdifferenzen über die Fassade und entsprechende Lüftungsraten sind für verschiedene hybride Systeme zu finden in [49]. Die Auswirkungen verschiedener urbaner Konfigurationen sind auch für Zürich in [51] aufgezeigt mittels (durch Messungen validierte) Berechnungen für das Alusta „Vent-O-Hybrid“ System ([48] p.57). Es zeigt sich, dass die Druckdifferenzen über gegenüberliegende Fassaden bis zu 75 % pro Jahr unter 1 Pa liegen. Eine mechanische Unterstützung ist in rund 25 % der Zeit nötig. • Anhaltspunkte über vorherrschende Windrichtungen und -geschwindigkeiten können z. B. aus den Windrosen von Meteoschweiz für verschiedene Messtationen (als langjährige Monats- und Jahresmittel) gewonnen werden.
Normative Lösungsansätze (vorhandene Normen)	• Projekt "Klimaszenarien fürs zukünftige Innenraumklima (SIA 2028) – Schlussbericht der Projekte «Klimaangepasstes Bauen – Grundlagen für die Zukunft» und A.15 «Aktuelle Klimadaten für Bauplanende" [132].
Normative Lösungsansätze (Vorschlag)	• keine
Offene Forschungsfragen	• Müssen die Fragen des Stack-Effektes und der Windklassierung differenzierter als derzeit betrachtet werden? Wenn ja: wie kann ein einfaches Planungsmittel dazu aussehen? • Wetter / Klima: Was muss bezüglich Wetter (Wind, Gebäudeexposition) bei hybriden Lüftungssystemen berücksichtigt werden? • Was muss bei wärmeren Temperaturen, was bei einer erhöhten Luftfeuchtigkeit beachtet werden?

Tabelle 49: Umgang mit Klimawandel (Auslegung)

Planungsthema	Umgang mit Klimawandel
Identifizierte Probleme / Verbesserungsbedarf resp.-potentiale	• Einfluss Urban heat island: In Städten kann es in der Nacht 2-5°C wärmer sein als in ländlichen Gegenden [110], [133]. • Einfluss Klimawandel führt zu erhöhten Tages- und Nachttemperaturen, längeren Hitzeperioden, einer zunehmenden Anzahl Tropennächte und Hitzetage ([110]), mit negativem Einfluss auf Wohlbefinden, Gesundheit und Mortalität [111]. • Limiten für passive Kühlung durch Nachtlüftung: Einfluss des Klimawandels, Einfluss der Bauweise ([112], [55]). • Einfluss Klimawandel auf Wirksamkeit der NL für passive Kühlung [38] (u.a. grösserer Einfluss der Bedienungsstrategie für die Öffnungen, allgemein mehr Stunden am Rand oder über oberer Komfortgrenze).



Planungsthema	Umgang mit Klimawandel
	• Verwendung zukünftiger Klimadaten in Planung und Beurteilungen [132] MeteoSchweiz.
Hinweise zu Anforderungen und Lösungsansätze	• Berücksichtigung der Arbeiten zu Grenzen der passiven Kühlung durch Nachtlüftung [55]; [56]. Nach [55] wird zukünftig in Süd und Teilen von Mitteleuropa das Nachtkühlungspotential nicht mehr ausreichen, in anderen Teilen Mitteleuropas und Nordeuropas bleibt das Kühlpotential zumindest noch für die nächsten Jahrzehnte erhalten. In [56] wird mittels Klimaprognosen für Deutschland aufgezeigt, dass bis zum Jahr 2050 eine passive Kühlung von Gebäuden nur noch mit grossem technischen Aufwand bzw. einer Kombination verschiedener Systeme möglich ist. • Berücksichtigung der Resultate Projekt "ResCool", u.a. personenbezogene Kühlung [111]. • Integration HLS in Kombination mit Kühlsystemen [58]; [113]. • Anpassung Bauweise: massive Wände und Decken; angepasste Fassaden- und Fensterflächen, Sonnenschutz. • Kombination mit stadtplanerischen Massnahmen [114], wie z. B. Gebäudestellung auf Luftaustausch ausrichten, Grünflächen, Fassaden- und Dachflächen mit hohem Albedo verwenden.
Normative Lösungsansätze (Vorhandene Normen)	• Meteodaten für zukünftige Klimaszenarien [132].
Normative Lösungsansätze (Vorschlag)	• keine
Offene Forschungsfragen	• Wie können effiziente Konzepte und Regelungsstrategien für HLS in Kombination mit Kühlsystemen aussehen? [57], [108], [115].

Lärmbelastung

Tabelle 50: Lärmbelastung von aussen

Planungsthema	Lärmbelastung von aussen
Identifizierte Probleme / Verbesserungsbedarf resp.-potentiale	• An lärmbelasteten Standorten ist der Einsatz von FL kritisch zu hinterfragen, da die Bewohner:innen die Lärmemissionen von aussen als störend empfinden. In einer Nutzerbefragung zum Einsatz von Fensterlüftern in Wohnungen nimmt mehr als die Hälfte der Befragten Geräusche von aussen «manchmal» oder «immer» als Störung wahr [34]. • Es fehlt eine klare Definition, ab welcher Aussenlärmbelastung FL eingesetzt werden dürfen (existiert in manchen Kantonen bereits indirekt über Subventionen).
Hinweise zu Anforderungen und Lösungsansätze	• Lüftungstechnische Elemente gegen aussen mit hohem Schalldämmmass verwenden (Vorsicht Problematik hoher Druckverlust).



	Platzierung der Lüftungstechnischen Elemente, wenn möglich schalltechnisch optimieren.
Normative Lösungsansätze (vorhandene Normen)	- Schallschutznachweis nach SIA 181:2020 [21]. - SR814.41 Lärmschutzverordnung (LSV) vom 15.12.1986 (Stand 01.07.2021)
Normative Lösungsansätze (Vorschlag)	keine
Offene Forschungsfragen	keine

Aussenluftbelastung (SIA 382/5, Kap. 3.2.3)

Tabelle 51: Aussenluftbelastung als Ausschlusskriterium für hybride Lüftungssysteme

Planungsthema	Aussenluftbelastung als Ausschlusskriterium für hybride Lüftungssysteme
Identifizierte Probleme / Verbesserungsbedarf resp.-potentiale	Es fehlen Festlegungen, wann die Aussenluftbelastung zu hoch für ein hybrides Lüftungssystem ist.
Hinweise zu Anforderungen und Lösungsansätze	keine
Normative Lösungsansätze (vorhandene Normen)	SIA 382/1:2014 [2] klassiert die Aussenluft (AUL) in drei Gruppen. Kapitel 1.7.1.1: AUL 1: saubere Luft, AUL 2: Luft mit hohen Konzentrationen an Verunreinigungen, AUL 3: Luft mit sehr hohen Konzentrationen an Verunreinigungen (genauere Spezifizierung siehe Norm). Eine reine Fensterlüftung ist nicht möglich, wenn der Immissionsgrenzwert der LRV für den Jahresmittelwert von NO₂ oder PM₁₀ um mehr als 50 % überschritten (AUL 3 gemäss 1.7.1) ist.
Normative Lösungsansätze (Vorschlag)	keine
Offene Forschungsfragen	- Welche Schadstoffe sind die relevantesten? Kann z. B. für eine HL, die natürlich Aussenluft nur an vor direkter Schadstoffbelastung geschützten Bereichen zuführt, eine günstigere Bewertung gemacht werden? - Sind die Filteranforderungen der rein mechanischen Lüftung (ISO ePM₁ 50 %) für Lüftungsgeräte, die hybrid mit Fensterlüftung kombiniert werden, sinnvoll? In welchen Bereichen: ja, in welchen: nein? Gäbe es da eine einfach handhabbare Abgrenzung?

6.3.3 Gebäudedaten (SIA 382/5, Kap. 3.3)

Die Abschnitte aus SIA 382/5:2021 [1] gelten auch für HLS und könnten sinngemäss übernommen werden.



6.3.4 Nutzungsdaten (SIA 382/5, Kap. 3.4)

Tabelle 52: Nutzungsdaten

Planungsthema	Nutzungsdaten
Identifizierte Probleme / Verbesserungsbedarf resp.-potentiale	• Es ist nicht definiert, wie mit Systemen umzugehen ist, bei denen ein aktiver Nutzereingriff für das Funktionieren erforderlich ist (Nachlüftung, Öffnen Türen für Durchlüftung). • Wie wird damit umgegangen, wenn die Komponenten (z. B. ALD, FL) einen Nutzereingriff zulassen (auf/zu), die Nutzenden aber die Komponente permanent schliessen? • Probleme nicht nur für HLS spezifisch, sondern auch für andere Lüftungssysteme: - Reale Belegungszahl / Nutzung des Raumes weicht von Auslegung ab. - Bürogebäude: Reale Nutzung sieht Kleiderordnung mit höherem clo Faktor als bei der Auslegung vor.
Hinweise zu Anforderungen und Lösungsansätze	• Einsatz von differenzdruckabhängig oder feuchtegeführt regelnden ALD mit oberer Volumenstrombegrenzung [86]. • Einsatz von verstellbaren Fensterlüftern, da unverstellbare Fensterlüfter möglicherweise von den Nutzern abgeklebt, oder durch irreversible Massnahmen verschlossen werden [34].
Normative Lösungsansätze (vorhandene Normen)	• Gemäss SIA 2024:2021 [134], Kap. 2, bzw. Excel-Anwendungshilfe SIA 2024 «Raumdatenblätter» (Bezug: www.energytools.ch).
Normative Lösungsansätze (Vorschlag)	• Einführung einer (Muster-)Gebrauchsanweisung für Wohnungen (z. B. als Bestandteil des Miet- bzw. Kaufvertrages). Es sollten Hinweise zur Notwendigkeit, Wirkungsweise und Instandhaltung aller technischen Anlagen und Geräte enthalten sein [86].
Offene Forschungsfragen	• keine

Nutzerverhalten

Tabelle 53: Anforderungen an das Nutzerverhalten

Planungsthema	Anforderungen an das Nutzerverhalten
Identifizierte Probleme / Verbesserungsbedarf resp.-potentiale	• Das reale Nutzerverhalten im Betrieb weicht von der Planung ab und der Einfluss auf die Funktionalität (Energieverbrauch, Raumluftqualität) ist ungeklärt. • Umgang mit Unsicherheiten (wie Fensterlüftungsverhalten der Nutzenden) in der Planung und bei Nachweisen. • Das Nutzerverhalten beim Fensteröffnen und -schliessen (im Zusammenhang mit ALD oder Fensterlüftern und einem zentralen Abluftventilator) zeigt, dass die Nutzenden Fenster hauptsächlich nach Zeitzyklen öffnen und schliessen [74].



Planungsthema	Anforderungen an das Nutzerverhalten
Hinweise zu Anforderungen und Lösungsansätze	• Technik so gestalten, dass ein (ungewünschter) Nutzereingriff nicht notwendig ist, bzw. keinen Schaden anrichtet. • Modelle für Nutzerverhalten bezüglich Fensteröffnen (siehe z. B. [57] für Bürosituation; [63] für MFH). • Es wird vorgeschlagen bei MFH in der Planung (sollte diese Simulationen enthalten) verschiedene Nutzermodelle (von sparsam bis verschwenderisch, bzw. optimal bis schlecht) zu kombinieren [74].
Normative Lösungsansätze (vorhandene Normen)	• keine
Normative Lösungsansätze (Vorschlag)	• Nutzungsvereinbarung: auf Bedeutung hinweisen und Punkte nennen, die in einem solchen Dokument projektspezifisch zu klären sind (analog zu SIA 382/5:2021 [1]).
Offene Forschungsfragen	• Entwicklung eines Modelles für Nutzerverhalten bezüglich Fensteröffnen, das nebst Behaglichkeit, RLQ und Zeitzyklen auch z. B. soziale Faktoren mit einbezieht.

6.3.5 Behaglichkeit (SIA 382/5, Kap. 3.5)

Hier wird in SIA 382/5:2021 [1] eingegrenzt, welche Punkte betreffs Behaglichkeit im Rahmen der Nutzungsvereinbarung zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer projektspezifisch zu klären sind. Die genannten Themen sind auch für HLS relevant.

6.3.6 Fazit für die Praxis: Projektierung – Auslegungskriterien

Die Auslegung von HL-Systeme ist nicht normativ definiert. Für die Projektierung schlagen wir ein dreistufiges Verfahren, ähnlich wie beim sommerlichen Wärmeschutz, vor.

- 1. Checkliste
- 2. Grobe rechnerische Auslegung
- 3. Simulation.

Beispiele für Auslegungsgrundlagen: Die Aussenbedingungen und die Gebäudedaten können aus SIA 382/5:2021 [1] übernommen werden. HL-Lüftungssystem sind meist stärker von den Aussenbedingungen abhängig. Künftigen Klimaszenarien (SIA 2028) muss daher zwingend Beachtung geschenkt werden. Nutzungsdaten stehen gemäss SIA 2024 zur Verfügung und müssen gegebenenfalls kritisch hinterfragt werden.



6.4 Projektierung – Lüftungskonzept (SIA 382/5, Kap. 4)

Bei diesem Kapitel sind die in den vorhergehenden Kapiteln gemachten Aussagen zu Energie und der technischen Umsetzung von Anforderungen zu Akustik / Schall zu beachten.

6.4.1 Vorgehen (SIA 382/5, Kap. 4.1)

Vorbemerkung: In SIA 382/5:2021 [1] wird das grundsätzliche Vorgehen bei der Systemwahl, bei der Bemessung etc. beschrieben (meistens mit Verweis auf jeweiliges Kapitel). Neben dem Geltungsbereich (belüftete Räume müssen in der thermischen Hülle sein) werden einige grundlegende Anforderungen genannt (in Räumen mit Fenstern müssen Bewohner:innen eines der Elemente öffnen können, für Abfuhr von unerwarteten Spitzenlasten ist eine Fensterlüftung vorzusehen, in der Regel auch für die sommerliche Nachtlüftung). Grundsätzliche Festlegungen, was im Lüftungskonzept enthalten sein soll, sind in SIA 180:2014 [3], Kapitel 3.2 beschrieben. Weitergehende Informationen wie dies umgesetzt werden könnte werden in der Wegleitung SIA 4001:2022 [135] zur Norm SIA 180:2014 beschrieben. Weitere allgemeine Hinweise und Festlegungen (z. B. Aussenluftklassen, RAL-Klassen (Anmerkung: in prSIA 382/1:2022-06 [101] werden IDA-Klassen definiert), die auch für hybride Lüftungen angewendet werden könnten, sind in SIA 382/1:2014 [2] enthalten.

Grundsätzlich ist es für die Planung wichtig, ein abgestimmtes Lüftungskonzept über die gesamte hybride Lüftung zu haben, damit allfällige Konflikte / Widersprüche einfacher ersichtlich sind. In diesem Konzept kann dann auch festgelegt werden welche Anforderungen die jeweiligen Teilsysteme (mechanisch bzw. natürlich) erfüllen müssen, damit das Gesamtsystem funktioniert.

Im Planungsprozess und bei der Umsetzung können viele Fehler passieren. Eine wichtige Fehlerquelle ist, dass bestimmte Lüftungskomponenten fehlen oder die falschen eingebaut werden (Hinweis aus Planungsworkshop Okt. 2021). Als einfache Abhilfe schlagen wir vor, dass die Angaben zur Lüftung (z. B. Zuluftelemente wie Fensterlüfter etc.) in die Architektenpläne eingezeichnet werden müssen, damit Art und Lage definiert sind. In der Submission müssen die Elemente dem entsprechenden Gewerk zugeteilt werden (Fenster und Elemente im Fenster: Fensterbauer, Elemente in der Aussenwand eventuell zum Lüftungsinstallateur). Zusätzliche Angaben: Lieferzeitpunkt, (trockene und staubfreie) Lagerung und Einbauzeitpunkt.



6.4.2 Lüftungskonzepte hybride Lüftung

Anmerkung: Es wird davon ausgegangen, dass es ein integrales Lüftungskonzept gibt, das aus einem mechanischen und einem natürlichen Lüftungsanteil besteht. Daher wird das Lüftungskonzept als Ganzes erfasst.

Tabelle 54: Lüftungskonzepte hybride Lüftung

Planungsthema	Lüftungskonzepte hybride Lüftung
Identifizierte Probleme / Verbesserungsbedarf resp.-potentiale	• Unterschiedliche Auslegung je nachdem ob das Konzept eine unterstützende / alternative mechanische Lüftung beinhaltet. • Es besteht Unklarheit darüber, welche Anforderung die mechanische Lüftung erfüllen muss, wenn es eine unterstützende, natürliche Lüftung gibt. • Die Anforderungen an die natürliche Lüftung z. B. bezüglich Luftqualität sind nicht definiert. • Es ist nicht definiert, wie mit dem Benutzer- und Klimaeinfluss umzugehen ist.



Planungsthema	Lüftungskonzepte hybride Lüftung
Hinweise zu Anforderungen und Lösungsansätze	• Dimensionierung der FL/ Fenster etc. entsprechend der ggf. recht unterschiedlichen geforderten Luftmengen für a) RLQ und b) passive Kühlung durch Nachtlüftung. Dies wird in [24] thematisiert und es werden Dimensionierungsansätze gegeben. • Mechanischen Lüftungsteil nach geltenden Normen planen, aber ev. mit «Korrekturfaktoren» bei den anzuwendenden Luftmengen (z. B. bei unterstützender natürlicher Lüftung). • Für Konzepte bei denen die natürliche Lüftung als Basissystem zu verstehen ist, müssen Grenzen festgelegt werden (z. B. Luftqualität / Feuchte im Raum, Temperaturdifferenzen, ev. Windgeschwindigkeiten), ab denen eine mechanische Unterstützung zuzuschalten ist. • Für Bereiche mit rein natürlicher Lüftung muss das Verfahren festgelegt sein, wie die resultierende Luftqualität bewertet wird, und welche Grenzen einzuhalten sind (z. B. wie die RAL Klassen nach SIA 382/1:2014 [2] zu bewerten sind [neuer Begriff IDA Klassen]; bzw. durch einen Ansatz einer Zielwertabweichung, wie sie z. B. in [117] beschrieben ist, oder z. B. in SNG CEN/TR 16798-2:2019 (Anhang D) [25] für Behaglichkeitsparameter angewendet wird. Nichtwohngebäude werden in SNG CEN/TR 16798-3:2017 [15] und [136]. • Für die Berechnung der natürlichen Lüftung können auch Ansätze aus der Literatur (z. B. [24]) geprüft werden. In [24] wird z. B. ein vereinfachter Ansatz für die Berechnung von Luftwechseln für konkrete Fensteröffnungs-Konfigurationen und Fenstertypen vorgestellt. Bei der Vorgabe kann zwischen Luftmenge und Öffnungsgeometrien unterschieden werden. Der Ansatz ist auf Nutzerfreundlichkeit ausgelegt. Er wurde mit Simulationen validiert. • In prEN 15665:2022-09-30 [11] sind Anforderungen (prescriptive und performance based) für hybride Lüftungen enthalten. Weiter wird aufgezeigt, wie dies im Lüftungskonzept umgesetzt werden kann.



Planungsthema	Lüftungskonzepte hybride Lüftung
Normative Lösungsansätze (vorhandene Normen)	• Für den mechanischen Teil gelten SIA 382/1:2014 [2], SIA 382/5:2021 [1]. • Für die natürliche Lüftung stehen diverse Ansätze zur Verfügung. Es finden sich Ansätze in SIA 180:2014 [3] und SIA 382/1:2014. Gewisse Berechnungsansätze sind zudem in SN EN 15665:2009 [8], SN EN 13465:2004 (für kleine Gebäude) [4], SN EN 15242:2007 [6], und in der Wegleitung SIA 4001:2022 zur SIA 180: 2014 [135] zu finden. Im weiteren können auch Elemente aus DIN 1946-6:2019 [18] genutzt werden. In SN EN 16798-7:2017 [12], den zugehörigen «Technischen Berichten» (TR) ([13] und einer Case Study (Kombination von EN Lüftungs- und Wärmebedarfsmodell) [83] wird ein weiteres Berechnungsverfahren für die natürliche Lüftung vorgestellt. • DIN 1946-06:2019 [18] sieht vor, dass bei hybriden Lüftungssystemen (hier wird der Begriff im Sinne des Projektes verwendet und nicht gemäss der Definition in DIN 1946-06:2019), bestehend aus natürlicher («freier») Lüftung und mechanischer («ventilatorgestützter») Lüftung, allgemein zu stellende Anforderungen als auch projektbezogene Anforderungen zu erfüllen sind. Allgemein zu erfüllende Anforderungen beinhalten Anforderungen an den Brandschutz, den Schallschutz, die thermische Behaglichkeit, die Raumluftqualität, die Energieeffizienz und Anforderungen an die Realisierung der Luftvolumenströme. Dabei muss mindestens die Lüftung zum Feuchteschutz nutzerunabhängig sichergestellt sein. Projektbezogene Anforderungen sind: erhöhte Anforderungen an die Zuluftqualität (nur bei mechanischen («ventilatorgestützten») Systemen), Realisierung der Luftvolumenströme in fensterlosen Räumen (nach DIN 18017-3:2020-05 [19]) und Anforderungen an den Betrieb von Feuerstätten und Lüftungsanlagen, bzw. -geräten [87].
Normative Lösungsansätze (Vorschlag)	• Fallunterscheidung in der Norm mit einfachen Kriterien für die verschiedene Konzeptfälle der Hybriden Lüftung (siehe dazu Vorschlag in Abbildung 5).
Offene Forschungsfragen	• Welche Luftmengen können in den einzelnen Konzepten der natürlichen Lüftung «angerechnet» werden? Die Praxistauglichkeit und Eignung der normativen Verfahren zur Anwendung sind zu überprüfen. • Welche zwingenden Anforderungen werden an die Luftqualität im Raum gestellt? Wie wird mit den Unsicherheiten durch Benutzer- und Klimaeinflüsse umgegangen?



6.4.3 Luftführung in Wohneinheiten (SIA 382/5, Kap. 4.4)

Das Kapitel «Luftführung in Wohneinheiten» behandelt in SIA 382/5:2021 [1] verschiedene Themen, welche auch für hybride Lüftungssysteme zur Anwendung kommen. Folgende Themen werden im Folgenden kurz erörtert:

- Kaskadenlüftung (SIA 382/5, Kap. 4.4.1)
- Verbundlüftung (SIA 382/5, Kap. 4.4.2)
- Kochstellenlüftung (SIA 382/5, Kap. 4.4.4)
- Schwerkraftlüftung
- Druckverhältnisse (SIA 382/5, Kap. 4.4.5)

Kaskadenlüftung (SIA 382/5, Kap. 4.4.1)

Tabelle 55: Kaskadenlüftung

Planungsthema	Kaskadenlüftung
Identifizierte Probleme / Verbesserungsbedarf resp.-potentiale	• Grundsätzlich können die Prinzipien aus SIA 382/5:2021 [1] angewendet werden. Durch die bei natürlicher Lüftung z. B. durch Windkräfte entstehenden Druckdifferenzen können aber u.U. unerwünschte (Rück-)Strömungen entstehen, die zu verhindern sind.
Hinweise zu Anforderungen und Lösungsansätze	• Unerwünschte Rückströmungen möglichst durch geeignetes Konzept ausschliessen (z.B. Rückschlagklappe in ALD oder FL; Verhindern von Querlüftung von Küche zu Wohn- oder Schlafräumen (Türe zw. Küche und Wohnbereich; dichte Wohnungstür zum Treppenhaus in mehrstöckigem MFH). • Überwachung mittels Sensorik (ev. schwierig) oder durch mechanische Elemente (Rückschlagklappen -> Druckverlust).
Normative Lösungsansätze (vorhandene Normen)	• Für den mechanischen Teil gelten SIA 382/1:2014 [2] und SIA 382/5:2021 [1]. Bei rein mechanischer Lüftung einfacher lösbar, da hier die Strömungsrichtung meist durch Ventilator drücke bestimmt ist. • für natürliche Lüftung nicht klar.
Normative Lösungsansätze (Vorschlag)	• keine
Offene Forschungsfragen	• Welche Situationen sind die kritischsten bzw. häufigsten, in denen Fehlströmungen vorkommen? Lösungsstrategien hierzu fehlen.



Verbundlüftung (SIA 382/5, Kap. 4.4.2)

Tabelle 56: Verbundlüftung

Planungsthema	Verbundlüftung
Identifizierte Probleme / Verbesserungsbedarf resp.-potentiale	• Bei Verbundlüftungen, die keine aktiven Überströmer aufweisen (wie in SIA 382/5:2021 [1] vorgesehen), muss der Luftaustausch rein durch natürliche Strömungen stattfinden. Insbesondere bei geschlossenen Zimmertüren funktioniert dies nicht ([35]: Es wären sehr grosse Elementquerschnitte unten und oben an der Türe nötig). Für solche Konzepte müssen Lösungen entwickelt werden. • Vergleichbar können auch Konzepte mit Einzelraumlüftern für einzelne Räume in Kombination mit natürlichem Luftaustausch zu den anderen Räumen bewertet werden.
Hinweise zu Anforderungen und Lösungsansätze	• Durch geeignet dimensionierte Überströmelemente Luftaustausch maximieren (Problem Platzbedarf, störender Lichteinfall, Schallschutz). Siehe auch Angaben in Tabelle 63.
Normative Lösungsansätze (vorhandene Normen)	• In SIA 382/5:2021 [1] sind notwendige Überströmluftmengen definiert. Zu klären ist, inwieweit diese abgeschwächt werden können für Konzepte mit passiven Überström-Luftdurchlässen (Einbusse bei Luftqualität).
Normative Lösungsansätze (Vorschlag)	• Vorgaben für die Dimensionierung passiver Überström-Luftdurchlässe (z. B. in Abhängigkeit der Raumgrösse und dem Luftqualitätsziel).
Offene Forschungsfragen	• Dimensionierung von passiven Überströmelementen für HL (insbesondere für NL, da für ML in SIA 382/5:2021 [1] Planungshinweise zu finden sind).

Kochstellenlüftung (SIA 382/5, Kap. 4.4.4)

Tabelle 57: Kochstellenlüftung

Planungsthema	Kochstellenlüftung
Identifizierte Probleme / Verbesserungsbedarf resp.-potentiale	• Beim Einsatz von Ablufthauben muss sichergestellt werden können, dass keine unerwünschten (Rück-)Strömungen entstehen. Dies ist jedoch auch (in abgeschwächtem Mass) für mechanische Abluftanlagen der Fall. • Bei Ablufthauben muss die Nachströmung der Abluft gewährleistet sein. Ist diese nicht definiert, kann ein erheblicher Unterdruck [34], [137] (bis zu 120 Pa) [31] entstehen.
Hinweise zu Anforderungen und Lösungsansätze	• Lösungsansätze sind grundsätzlich bekannt (siehe auch [31]). Hinweise zur Dimensionierung der Nachströmöffnung finden sich in [137]. Dabei wird nach mehrgeschossigen und eingeschossigen Nutzungseinheiten, nach Baustandard, dem Abluft-Dunstabzugssystem und dem zulässigen Unterdruck unterschieden. Für mittelgrosse Wohnungen mit mehrgeschossigen



Planungsthema	Kochstellenlüftung
	Nutzungseinheiten variieren die Angaben für den Durchmesser zwischen 6 und 21 cm, für eingeschossige Nutzungseinheiten zwischen 5 und 23 cm. • Bei Hybridlüftungskonzepten mit einem hohen Anteil an natürlicher Lüftung ist der Abfuhr von Feuchte aus dem Kochprozess Beachtung zu schenken. Da sie keine Feuchte abführen sind für solche Konzepte Umluft-Dunstabzugshauben ev. problematisch (abzuklären) und Ablufthauben einzusetzen.
Normative Lösungsansätze (vorhandene Normen)	• Im Grundsatz sind SIA 382/5:2021 [1] bzw. SIA 382/1:2014 [2] anwendbar
Normative Lösungsansätze (Vorschlag)	• Unter Umständen sind Bedingungen festzulegen, die einzuhalten sind, damit eine Umluft-Dunstabzugshauben eingesetzt werden darf. • Für den Betrieb von Ablufthauben muss der Differenzdruck der Nachströmöffnung mit der Auslegung der hybriden Lüftung zusammenpassen (genügend tief sein) bzw. es müssen technische Lösungen zur Verhinderung von Rückströmungen getroffen werden.
Offene Forschungsfragen	• keine

Schwerkraftlüftung

Tabelle 58: Schwerkraftlüftung

Planungsthema	Schwerkraftlüftung
Identifizierte Probleme / Verbesserungsbedarf resp.-potentiale	• Im Winter funktioniert die Schwerkraftlüftung gut. Simulationen in [64] zeigen, dass sich im Badezimmer Luftwechsel von 1.6 h^{-1} einstellen. Messungen in [65] zwischen März und Juli 2022 zeigen, dass sich die rel. Luftfeuchtigkeit der Bäder im Mittel zwischen ca. 45-65 % bewegt. Allein über die Schwerkraftlüftung dauert es ca. 2.5 h, bis die Luftfeuchtigkeit nach einem Duschvorgang wieder auf 60 % gesunken ist.
Hinweise zu Anforderungen und Lösungsansätze	• Eine Möglichkeit ist es, wegen der Klimaerwärmung die Schwerkraftlüftung nur noch im Zusammenhang mit einem feuchtegeregelten Ventilator im Bad zu empfehlen.
Normative Lösungsansätze (vorhandene Normen)	• DIN 1946:2019 [18] sieht vor, dass ein Ventilator unterstützt, bzw. übernimmt, wenn der thermische Auftrieb nicht ausreichend für die Sicherstellung der geplanten Lüftungsstufe ist.
Normative Lösungsansätze (Vorschlag)	• keine



Planungsthema	Schwerkraftlüftung
Offene Forschungsfragen	• Erarbeitung von einfachen Bestimmungsmöglichkeiten für den Einsatzbereich. Kommentar: In [65] werden erste Ergebnisse dargestellt. Es sollte daher der Schlussbericht des Projektes «Schwerkraftlüftung – Monitoring Mehrfamilienhaus Eidgenossenweg» (2021 – 2023, FHNW) abgewartet werden. Eventuell offene Fragen können im Anschluss definiert werden.

Druckverhältnisse (SIA 382/5, Kap. 4.4.5)

Tabelle 59: Druckverhältnisse

Planungsthema	Druckverhältnisse
Identifizierte Probleme / Verbesserungsbedarf resp.-potentiale	• Bei Hybridlüftungskonzepten können erhöhte Druckdifferenzen durch Wind (ev. auch durch thermischen Antrieb bei hohen Gebäuden) auftreten. Im Lüftungskonzept muss diese Frage behandelt werden (v.a. für windexponierte Lagen und hohe Gebäude) und Lösungen dazu müssen aufgezeigt werden. • Bestehen im Lüftungssystem intern Verbindungen über mehrere Stockwerke, muss für die Dimensionierung der Lüftungsöffnungen für die NL ggf. auch die Lage der Neutralebene Innen- zu Aussendruck beim Kamineffekt berücksichtigt werden (siehe auch vierter Punkt unter «Hinweise zu Anforderungen und Lösungsansätze»). • Andererseits sind bei Hybridlüftungskonzepten auch Lüftungselemente mit geringen Druckdifferenzen nötig, um bei geringen Antriebskräften einen ausreichenden Luftwechsel zu erzielen. Auch dieser Punkt muss in der Konzeptlösung aufgezeigt werden (Dimensionierung).



Planungsthema	Druckverhältnisse
Hinweise zu Anforderungen und Lösungsansätze	• Bei Aussenbauteil- Luftdurchlässen sind u.U. Begrenzungselemente einzusetzen. • Die Anforderungen an die Druckbedingungen müssen mit dem geplanten Luftaustausch durch natürliche Lüftung zusammenpassen (Auslegung der Überströmelemente, etc.). • Ableiten der lokalen Windbeeinflussung, z. B. auf der Basis von Windrosen von Meteoschweiz für verschiedene Messtationen (als langjährige Monats- und Jahresmittel), der Umbauung des Gebäudes, sowie der Gebäudehöhe und allenfalls auch der Gebäudegeometrie (durch Abschätzen von Winddruckbeiwerten). • ML und Verbindungen über mehrere Stockwerke: bei Abluftanlagen darf der zusammenhängende Luftraum nicht mehr als zwei Geschosse umfassen, da sonst die Anforderungen gem. SIA 382/5:2021 nicht eingehalten werden können. Zudem stellen sich bei hohen Lüftungszonen grosse Differenzen zwischen den Luftvolumenströmen im Winter und Sommer ein. Weitere Informationen [119], Kap. 7.2. (Einfluss Infiltration, Empfehlung für höhere Unterdrücke bei Ein/Aus-Betrieb Ventilator).
Normative Lösungsansätze (vorhandene Normen)	• Im Grundsatz sind die Vorgaben aus SIA 382/5:2021 [1] bzw. SIA 382/1:2014 [2] anwendbar. Eventuell sind noch konzeptspezifische Präzisierungen erforderlich (z. B. Limiten ab wann Begrenzungseinrichtungen zwingend sind).
Normative Lösungsansätze (Vorschlag)	• keine
Offene Forschungsfragen	• Es fehlen eine praxistaugliche Methodik, Daten und ggf. ein Tool für eine einfach zu bedienende, detaillierte Erfassung der Windbeeinflussung eines spezifischen Gebäudes.

6.4.4 Fazit für die Praxis: Projektierung – Lüftungskonzept

Für die Projektierung ist ein integrales Lüftungskonzept elementar. Dieses umfasst neben dem mechanischen auch den natürlichen Teil der Lüftung. Es sollte auch festgelegt sein, welche Anforderungen die Teilsysteme (mechanisch/natürlich) erfüllen. Durch die integrale Planung können Konflikte und Widersprüche früh erkannt und gelöst werden.

Die Angaben zur Lüftung sollen in die Architektenpläne aufgenommen werden, so wird gewährleistet, dass keine Komponenten vergessen gehen.

Die Luftführung in den Wohneinheiten wird in SIA 382/5:2021 [1] behandelt. Bei HL kommen diese ebenfalls zur Anwendung und müssen gegebenenfalls angepasst werden.



6.5 Berechnung, Bemessung und technische Anforderungen (SIA 382/5, Kap. 5)

6.5.1 Übersicht (SIA 382/5, Kap. 5.1)

Hier finden sich in SIA 382/5:2021 [1]) Angaben, welche der nachfolgend in der Norm ausgeführten Hinweise zur Berechnung und Bemessung gleichzeitig eingehalten werden müssen. Spezifische Angaben oder Kommentare zur hybriden Lüftung siehe nachfolgender Abschnitt.

6.5.2 Luftvolumenströme (SIA 382/5, Kap. 5.2)

Allgemeines (SIA 382/5, Kap. 5.1 bis 5.2.3)

Grundsätzlich sind die allgemeinen Planungsthemen, wie sie in SIA 382/5:2021 [1], Kapitel 5.1 und Kapitel 5.2.1 beschrieben werden, auch für hybride Lüftungen anwendbar. Auch für die natürliche Lüftung sind diese Anforderungen z. B. als Durchschnittswerte anwendbar. Bei einigen Punkten (z. B. Festlegung von Eigenschaften für Komponenten nach SN EN 13142:2021 [138]) müssen jedoch die spezifischen Anforderungen der natürlichen Lüftung beachtet bzw. in die Beurteilung einbezogen werden (z. B. bei Druckverlusten von Luftdurchlässen etc.).

Auch die Definitionen des Normallüftungsbetriebs (SIA 382/5:2021 [1] Kapitel 5.2.2) sowie des Grundlüftungsbetriebs (SIA 382/5:2021 Kapitel 5.2.3) müssten an die spezifischen Gegebenheiten bei hybriden Lüftungen angepasst werden.

Zuluft-Volumenströme (SIA 382/5, Kap. 5.2.4)

Tabelle 60: Zuluft-Volumenströme

Planungsthema	Zuluft-Volumenströme
Identifizierte Probleme / Verbesserungsbedarf resp.-potentiale	• Bei natürlicher Lüftung sind die resultierenden Luftraten durch Fensterlüftung oft zu niedrig (da die vorherrschenden Differenzdrücke häufig zu klein sind) ([139]: oft $nL < 0.5$). Auch können Markisen, Vorhänge etc. unter Umständen den Luftaustausch behindern. • Konzepte mit FL: Nicht jeder Aufenthaltsraum enthält eine Frischluftzufuhr, obwohl eine solche notwendig wäre (Luftaustausch innerhalb Wohnung) [34]. Der durch die FL erreichbare Luftwechsel ist auch von der Höhe des Einbauortes (Stockwerk) und der umgebenden Bebauung abhängig («Exposition»). Quantifizierung Einfluss in [27], Kap. 6. (+100% für 3. Stock zu EG; +60% für exponierte zu geschützte Lage, -20% für windstark zu windschwach). • Berechnungsvorgaben bzw. Dimensionierungsrichtlinien für Aussenbauteil-Luftdurchlässe fehlen (welche Luftmenge darf für natürliche Lüftung eingerechnet werden, im Sinne einer «Gutschrift»?). • Dimensionierung der Aussenbauteil-Luftdurchlässe (inkl. automat. Fenster etc.) entsprechend der ggf. recht unterschiedlichen geforderten Luftmengen für die Raumluftqualität und andererseits für die passive Kühlung durch Nachtlüftung.



Planungsthema	Zuluft-Volumenströme
Hinweise zu Anforderungen und Lösungsansätze	• Durch die Definition des zu planenden Systems (Anforderungsfestlegung gem. Vorschlag in Abbildung 5) soll ein Verfahren entwickelt werden können, um für die Planung handhabbare Auslegungswerte zu erhalten. • Bei hybriden Systemen mit mehreren Funktionen (z. B. Grundlüftung und Nachtlüftung) müssten die beiden Anforderungen separat behandelt werden (da vermutlich auch unterschiedliche Bauteile bzw. zumindest Regelstrategien). • Im Rahmen der Erstellung des Lüftungskonzeptes müssen die wesentlichen Betriebsfälle bezüglich dem Luftaustausch innerhalb der Wohnung geklärt werden. Es könnten auch bestimmte Komponenten einer Lüftungsaufgabe zugewiesen werden (z. B. Feuchteschutzluftwechsel über Fensterlüfter). • Ein mechanisch unterstütztes, feuchtigkeitsgeregeltes Belüftungssystem in MFH optimiert den Einsatz natürlicher Kräfte, begrenzt den Durchfluss im Winter, trägt zur Energiekontrolle bei und sorgt in der warmen Jahreszeit für positive Durchflussraten, und vermeidet Rückfluss ([75] Demo-Projekt NANGIS: 55 Wohnungen mit Aereco-System). • Detaillierte Unterlagen zum natürlichen Luftaustausch durch Fenster finden sich in [52], speziell für Kippfenster in [53]. Bei gleicher Öffnungsfläche tritt nach [52] beim Kippfenster ein um den Faktor 0.6 reduzierter Luftaustausch gegenüber dem Drehfenster auf (Näherung: Wert Drehfenster * 0.6). • Der gewöhnlich eingesetzte Druckverlustbeiwert für kleine Öffnungen von 0.6 kann in der Realität von 0.4 bis 1.2 variieren ([41] S.38). • Für die Berechnung der natürlichen Lüftung können auch Ansätze aus der Literatur (z. B. [24]: analytische Ansätze für Festlegung von Luftraten resp. Öffnungsgrößen für Mindestluftwechsel, Feuchteschutz und intensive sommerliche Lüftung) geprüft werden. Für Doppelfassaden finden sich Ansätze in [140] (auch eine Methode, mit der in frühen Planungsphasen schnell und ohne Softwareanwendung die erforderliche Größe der Lüftungsöffnungen bestimmt werden kann).



Planungsthema	Zuluft-Volumenströme
Normative Lösungsansätze (vorhandene Normen)	• Für den mechanischen Teil gelten SIA 382/1:2014 [2] und SIA 382/5:2021 [1]. • Für die NL stehen diverse Ansätze zur Verfügung. Es finden sich Ansätze in SIA 180:2014 [3] und SIA 382/1:2014. Gewisse Berechnungsansätze sind auch in SN EN 15665:2009 [8], SN EN 13465:2004 [4] (für kleine Gebäude), SN EN 15242:2007 [6], sowie in der Wegleitung SIA 4001:2022 zur SIA 180: 2014 [135] zu finden. Im weiteren können auch Elemente aus DIN 1946-6:2019 [18] genutzt werden. In SN EN 16798-7:2017 [12], den zugehörigen «Technischen Berichten» (TR) [13] wird ein weiteres Berechnungsverfahren für die natürliche Lüftung vorgestellt. • Eine Fallstudie [83] zum Berechnungsansatz gemäss SN EN 16798-7:2017 in Kopplung mit einem thermischen Modell (gem. EN ISO 52016-1) zeigt, dass die Berechnungen von natürlichen Luftströmungen mit Tabellenkalkulationsprogrammen (hier Excel) plausible Resultate bringen. Für Fragen wie Regelung oder Nachtlüftungspotential ist aber eher der Einsatz eines dynamischen Gebäudesimulationsprogramms (wie IDA ICE, EnergyPlus oder TNSYS) angezeigt, das integral sowohl ein Modell für NL wie auch ein detailliertes thermisches Modell beinhaltet.
Normative Lösungsansätze (Vorschlag)	• Im Rahmen der Auslegung muss für den mechanischen Teil der Anlage eine Anforderung definiert werden können, mit der die Auslegung nach den vorhandenen Normen möglich ist (z. B. anrechenbare Volumenströme der natürlichen Lüftung). • Für die NL müssten die Auslegungsgrundsätze noch festgelegt werden. Als Grundlage sollten die unter «Normative Lösungsansätze (vorhandene Normen)» genannten Normen geprüft werden. Dabei sollte nach Art der Zuluftöffnung (FL, ALD, Fenster etc.) differenziert werden (Angaben für die vereinfachte Auslegung von FL in Diagrammform bezogen auf die Wohnfläche finden sich in [141]). • Die Angaben zur Lüftung (z. B. Zuluftelemente wie FL, ALD etc.) müssen in die Architektenpläne eingezeichnet werden, damit Art und Lage definiert sind. In der Submission müssen die Elemente dem entsprechenden Gewerk zugeteilt werden (Fenster und Elemente im Fenster: Fensterbauer, Elemente in der Aussenwand eventuell zum Lüftungsinstallateur). Zusätzliche Angaben: Lieferzeitpunkt, (trockene und staubfreie) Lagerung und Einbauzeitpunkt.



Planungsthema	Zuluft-Volumenströme
Offene Forschungsfragen	• Zu erwartende Luftraten bei NL? Wie bestimmen? Was kann angenommen/festgelegt werden für die Planung? Die Praxistauglichkeit und Eignung der normativen Verfahren zur Anwendung sind zu überprüfen. • Einfluss eines offenen Fensters auf Luftraten in den verschiedenen Räumen mit Fensterlüftung? • Resultierender Druck, wenn Drücke von natürlichen Kräften und von gleichzeitigem Ventilatorbetrieb in etwa von gleicher Grössenordnung sind ([39] S. 54 und [41] S.39: lineare Addierung ist nicht korrekt)?

Abluft-Volumenströme (SIA 382/5, Kap. 5.2.5)

Tabelle 61: Abluft-Volumenströme

Planungsthema	Abluft-Volumenströme
Identifizierte Probleme / Verbesserungsbedarf resp.-potentiale	• Feuchteschutz - Schimmelrisiko (siehe DIN/TS 4108-8:2022-09 [20] und [142]). • Es ist in manchen Projekten nicht klar definiert, ob Luftmengen nur für den Bautenschutz (Schimmelfreiheit), oder auch für die hygienische Lüftung ausreichen sollen [34]. • Projekterfahrung: In fünf von acht Wohnungen wurde bei einfachen Abluftanlagen ein mehr als 10 % zu tiefer Abluftvolumenstrom und in zwei von acht Wohnungen ein mehr als 10 % zu hoher Abluftvolumenstrom gemessen [34].



Planungsthema	Abluft-Volumenströme
Hinweise zu Anforderungen und Lösungsansätze	• Im Rahmen der Auslegung muss für den mechanischen Teil der Anlage eine Anforderung definiert werden können, mit der die Auslegung nach den vorhandenen Normen möglich ist (z. B. anrechenbare Volumenströme der NL). • Zur Auslegung des Abluftvolumenstromes wird in SIA 382/5:2021 [1] je nach Dichtheit des Gebäudes ein Abluftüberschuss mit Faktor 1.3 (bei q_{a50} 0.6 m³/(m² h) bis 1.7 (bei q_{a50} 1.7 m³/(m² h) gefordert. Damit das Hybrid-System optimal funktioniert, soll der Faktor für den Abluftüberschuss je nach Gebäudedichtheit und angestrebtem Unterdruck angepasst werden können. • Für Systeme mit ventiltorunterstützter NL (z. B. Abluftventilator nur bei Bedarf in Betrieb), könnte die Auslegung auch auf die für die Feuchteabfuhr erforderliche Luftmenge festgelegt werden und mit der (Feuchte-)Regelung ein dem natürlichen Lüftungsanteil angepassten Betrieb erlaubt werden. • Für die NL müssten die Auslegungsgrundsätze noch festgelegt werden. Es wird erforderlich sein, dass der für die Abluft bzw. Feuchteabfuhr anrechenbare natürliche Luftvolumenstrom stark konzeptabhängig festgelegt werden muss (in welchem Mass trägt die über NL eingebrachte Zuluft zur Reduktion der Feuchtelasten in einem anderen Raum bei). • Für die Berechnung der NL können auch Ansätze aus der Literatur (z. B. [24] analytische Ansätze für Festlegung von Lufraten resp. Öffnungsgrößen für Mindestluftwechsel, Feuchteschutz und intensive sommerliche Lüftung) geprüft werden. Für Doppelfassaden finden sich Ansätze in [140] (auch eine Methode, mit der in frühen Planungsphasen schnell und ohne Softwareanwendung die erforderliche Größe der Lüftungsöffnungen bestimmt werden kann).
Normative Lösungsansätze (vorhandene Normen)	• für mechanischen Teil SIA 382/1:2014 [2], SIA 382/5:2021 [1]. • Für NL stehen diverse Ansätze zur Verfügung. Es finden sich Ansätze in SIA 180:2014 [3] und SIA 382/1:2014. Gewisse Berechnungsansätze sind auch in SN EN 15665:2009 [8], SN EN 13465:2004 [4] (für kleine Gebäude), SN EN 15242:2007 [6], sowie in der Wegleitung SIA 4001:2022 zur SIA 180: 2014 [135] zu finden. Im weiteren können auch Elemente aus DIN 1946-6:2019 [18] genutzt werden. In SN EN 16798-7:2017 [12], den zugehörigen «Technischen Berichten» (TR) [13] und einer Case Study [83] wird ein weiteres Berechnungsverfahren für die natürliche Lüftung vorgestellt. • In DIN/TS 4108-8:2022-09 [20] sind Angaben für die Ermittlung des Luftwechsel mit natürlicher Lüftung (Fensterlüftung) verfügbar.



Planungsthema	Abluft-Volumenströme
Normative Lösungsansätze (Vorschlag)	• Im Rahmen der Auslegung muss für den mechanischen Teil der Anlage eine Anforderung definiert werden können, mit der die Auslegung nach den vorhandenen Normen möglich ist (z. B. anrechenbarer Abluftvolumenstrom der natürlichen Lüftung). • Für die natürliche Lüftung müssten die Auslegungsgrundsätze noch festgelegt werden. Als Grundlage sollten die unter «Normative Lösungsansätze (vorhandene Normen)» genannten Normen geprüft werden.
Offene Forschungsfragen	• Zu erwartende wirksame Abluftraten bei NL? Wie bestimmen? Was kann angenommen/festgelegt werden für Planung (z. B. bezüglich Feuchteaustausch in der Wohnung)? Die Praxistauglichkeit und Eignung der normativen Verfahren zur Anwendung sind zu überprüfen. • Berechnung Luftvolumenströme bei diskontinuierlicher Lüftung durch offene Fenster zur Dimensionierung der notwendigen Feuchteschutzlüftung. Berücksichtigung Feuchtepufferverhalten des Raumes, oder Betrachtung über eine längere Periode mit Annahme, dass sich Adsorptions- und Desorptionsvorgänge ausgleichen? Wie detailliert soll/muss hier geplant werden? Siehe Artikel Beike und Nadler zu DIN SPEC 4108-8:2020 (sic. Kommentar: damaliger Arbeitstitel der Norm) [142].

6.5.3 Lüftungskomponenten (SIA 382/5, Kap. 5.3)

In diesem Abschnitt werden nur Komponenten berücksichtigt, die für die HL zentral sind und abweichende Festlegungen aufweisen können als bei einem Einsatz in einer Anlage mit ML. Nicht behandelt werden z. B. Komponenten, wie Ventilatoren oder Lüftungsgräte, die in SIA 382/1:2014 [2] bzw. SIA 382/5:2021 [1] enthalten sind.

Die hier aufgeführten Lüftungskomponenten (ausgenommen die passive Kühlung durch Nachtlüftung) werden bei der ML und bei der HL verwendet. Die Auslegung beim Einsatz des Bauteils für eine reine ML wird in SIA 382/5:2021 [1] bzw. SIA 382/1:2014 [2] behandelt. Werden die Komponenten für eine HL verwendet, müssen einige zusätzliche Punkte beachtet werden, wenn die Elemente gemeinsam für den natürlichen und mechanischen Teil der Anlage eingesetzt werden sollen:

- Minimierung von Druckverlusten: Luftleitungen, Luftdurchlässe bzw. auch Klappen etc.
- Behaglichkeit: ev. grössere Zugluftgefahr und / oder ungünstige Beeinflussung des sommerlichen Wärmeschutzes durch gross dimensionierte Aussenbauteil-Luftdurchlässe.
- Schallschutz: geringere Schalldämmung durch gross dimensionierte Aussenbauteil-Luftdurchlässe bzw. auch bei Überström-Luftdurchlässen.

Bei den primär für die NL dimensionierten Bauelementen ergeben sich in folgenden Punkten spezifische zusätzliche Anforderungen an die Bauteile:

- Luftdurchlässe: Auslegungsgrundsätze sowie entsprechende technische Daten zu den Elementen (z. B. Druck-Volumenstrom Kurven für geringe Druckdifferenzen).
- Anforderungen an Einbruchschutz (manuell oder automatisch bediente Lüftungsfenster).



- Anforderungen an den Witterungsschutz (v.a. manuell bediente Aussenbauteil-Luftdurchlässen und Lüftungsfenster).
- Abgleich Abluftmengen pro Stockwerk in Mehrstock-MFH im passiven Betrieb.

Anforderung an Aussenbauteil-Luftdurchlässe (ALD), Aussenluft- und Fortluftdurchlässe (SIA 382/5, Kap. 5.3.2)

Tabelle 62: Aussenbauteil-Luftdurchlässe (ALD), Fensterlüfter (FL), Aussenluft- und Fortluft-Durchlässe sowie Überström-Luftdurchlässe

Planungsthema	Aussenbauteil-Luftdurchlässe (ALD), Fensterlüfter (FL), Aussenluft- und Fortluft-Durchlässe sowie Überström-Luftdurchlässe
Identifizierte Probleme / Verbesserungsbedarf resp.-potentiale	• Es gilt zu berücksichtigen: Je besser der Filter, desto höher der erforderliche Druckunterschied. • Die Nachströmöffnung für die Küchenabluft (automatisiert über Fenster, ALD, Achtung: speziell bei Fensterlüftern ist der erreichbare Volumenstrom über die Komponenten zu beachten), die mit dem Küchenabluftventilator gekoppelt ist, muss ausreichend dimensioniert sein (siehe dazu auch Beschreibung in Kapitel 0. Zusätzliche Informationen finden sich in [31], speziell Kap. 4.2 «Abluftbetrieb» und Kap. «4.6 «Nachströmung bei Ablufthauben» behandeln Vor- und Nachteile, sowie die Dimensionierung diverser Nachströmöffnungen.). • Bei Projekten mit FL wird deutlich, dass im Auslegungsfall in keiner der untersuchten Wohnungen (8 Stück) der nach Norm geforderte Volumenstrom erreicht werden kann. Es ist daher davon auszugehen, dass schon bei der Auslegung mit tieferen Volumenströmen oder höheren Unterdrücken gerechnet wurde [34]. • Bei nichtverstellbaren Fensterlüftern (d. h. Luftzufuhr immer offen) werden die FL teilweise von den Bewohnern abgeklebt. Verstellbare FL wurden nicht abgeklebt [34]. • Sollen ALD im Zusammenhang mit einfachen Abluftanlagen den hygienisch erforderlichen Aussenluftvolumenstrom bereitstellen, dann müssen (oftmals) pro Raum zwei ALD installiert werden [28]. • Es fehlen Angaben dazu, wie Aussenbauteil-Luftdurchlässe gut ausgebildet werden können, welche Lösungen sinnvoll sind und welche Anforderungen gelten sollten. • Dimensionierung Durchlässe, Nach- und Überströmöffnungen und FL. Ist der Überström-Luftdurchlass (Türspalt) richtig dimensioniert, so müssen die Zimmertüren nicht immer offen stehen [34]. Siehe dazu auch Beschrieb in Tabelle 63.



Planungsthema	Aussenbauteil-Luftdurchlässe (ALD), Fensterlüfter (FL), Aussenluft- und Fortluft-Durchlässe sowie Überström-Luftdurchlässe
Hinweise zu Anforderungen und Lösungsansätze	• Unterscheidung zwischen aktiven (z. B. selbstregelnden) und passiven FL und FL in Kombination mit Ventilator, und FL ausschliesslich für NL: die Auslegung hängt davon ab, ob eine mechanische Lüftungskomponente einen konstanten (höheren) Druckunterschied erzeugt, oder ein nicht-konstanter Druckunterschied bei der NL vorhanden ist. • In [79] werden Einsatzempfehlungen für die Dimensionierung von FL beschrieben (vereinfachte Planung für typische Wohnungsarten mit Diagrammen). • Für die Dimensionierung der Nachströmöffnung für die Küchenabluft werden in [137] und [31] Hinweise gegeben. • Für den rein mechanischen Teil in Zusammenarbeit mit ALD und FL etc. finden sich Angaben in SIA 382/5: 2021. • Für NL und gemeinsam genutzte Elemente sind die Anforderungen nicht klar. Grundsätzlich ist dies zusammen mit den Grundsätzen für die Auslegung der Zu- und Abluftvolumenströme zu lösen. Mit den entsprechenden Produktdaten wäre auch eine Auslegung auf unterschiedliche Differenzdrücke realisierbar. • In der Praxis bestehen oft Defizite bei den Angaben in den technischen Daten der Produkte (z. B. Prüfdaten nach SN EN 13141-1:2019) [143]. Für Bauteile, die für sehr tiefe Druckdifferenzen auszulegen sind ($<1\text{Pa}$), bestehen auch rein technisch Schwierigkeiten in der Bauteilprüfung. • In [144] sind für Überströmelemente gewisse Auslegungshinweise vorhanden (Empfehlung: maximaler Druckverlust von 2-3 Pa pro Überströmelement bei ML Auslegungsvolumenstrom; Auswirkungen auf In-/Exfiltration). • FL / ALD mit Volumenstrombegrenzung (Winddrucksicherung) verwenden, insbesondere bei Querlüftung und bei windexponierten Gebäuden.
Normative Lösungsansätze (vorhandene Normen)	• Für rein mechanischen Teil SIA 382/1:2014 [2], SIA 382/5:2021 [1]. • In DIN 1946-6:2019 [18] werden z. B. für ALD unterschiedliche Auslegungsdifferenzdrücke angegeben, je nachdem, ob die ALD im Zusammenhang mit NL oder ML eingesetzt werden. (Kapitel 6.2.1 [87]). • Bezüglich des Schallschutzes sind die Anforderungen an die Schalldämmung der Komponenten bezüglich Anforderungsstufe, Lärmbelastung, Lärmempfindlichkeit (SIA 181:2020 [21]) zu bestimmen. Siehe dazu auch Tabelle 42 und Tabelle 50.
Normative Lösungsansätze (Vorschlag)	• Es müssten normative Anforderungen für NL und gemeinsam genutzte Elemente erarbeitet werden.



Planungsthema	Aussenbauteil-Luftdurchlässe (ALD), Fensterlüfter (FL), Aussenluft- und Fortluft-Durchlässe sowie Überström-Luftdurchlässe
Offene Forschungsfragen	• Erarbeitung von Auslegungsgrundsätzen für vereinfachte Jahresbetrachtungen von Luftdurchlässen bei Aussenbauteil-Luftdurchlässen (z. B. statistisch relevanter Auslegungsbereich der Druckdifferenzen von...bis, nach Jahreszeiten o.Ä.). • Erarbeitung von einfachen Auslegungsgrundsätzen für Luftdurchlässe mit sehr geringen Druckdifferenzen.

Überström-Luftdurchlass (SIA 382/5, Kap. 5.3.5)

Tabelle 63: Überströmöffnungen gegen innen

Planungsthema	Überströmöffnungen gegen innen
Identifizierte Probleme / Verbesserungsbedarf resp.-potentiale	• Als häufiger Ausführungsfehler identifiziert sind zu geringe freie Überströmquerschnitte zwischen Zu- und Ablufträumen [86]. Speziell bei Badtüren werden die höheren Anforderungen (normativ erforderlicher Türspalt: 12.5 – 20.0 mm) nicht erfüllt [34]. • Das Fehlen von Überströmöffnungen gegen innen kann zum Aussetzen der Funktion von Lüftungstechnischen Massnahmen führen [86]. • Häufigste Probleme gemäss [119]: Schalldämmung zwischen den Räumen; Druckabfall höher als 3 Pa (ZUL-/ABL-Anlagen), resp. 1 Pa (ABL-Anlagen); Zugerscheinungen (nur im Aufenthaltsbereich relevant); und die Reinigbarkeit. • Sind Türen mit schalldämmenden Überströmelementen Bestandteil eines Lüftungskonzeptes zur nächtlichen Entwärmung (passive Kühlung), so ist die Querlüftung mit geschlossenen Türen wenig effizient. Besser ist es, die Türe nachts offen stehen lassen [71].
Hinweise zu Anforderungen und Lösungsansätze	• Überströmungen mit hohem Schalldämm-Mass [119]: Falls der Türspalt höher als 7 mm sein muss, soll eine Überströmöffnung gewählt werden. • Je nach Konzeption der Luftstromführung sind Türspalte unten und / oder oben am Türblatt anzubringen. Speziell im Zusammenhang mit NL (als passives Element) ist die höhenbezogene Platzierung relevant. • Durch ein hohes Schalldämm-Mass kann sich auch der Druckabfall erhöhen. • Ein Vergleich von einfachen tür- und zargenintegrierten Überströmelementen in Bezug auf schalltechnische Eigenschaften und Druckverluste ist in [144] (Kap. 3.3.2) zu finden. Dazu werden auch Berechnungskennwerte für diese Elemente dokumentiert. • Passive Überström-Luftdurchlässe (ohne Druckdifferenz durch ML) für den Wohnbereich müssen grosse freie Querschnitte (0.1 m² oder



Planungsthema	Überströmöffnungen gegen innen
	mehr), eine Anordnung in Boden und Deckennähe und sehr geringe Druckverluste (um 0.1 Pa) aufweisen [35].
Normative Lösungsansätze F(vorhandene Normen)	• In DIN 1946-6:2019 [18] werden für Überströmöffnungen gegen innen unterschiedliche erforderliche freie Flächen angegeben, je nachdem, ob die Öffnungen im Zusammenhang mit NL oder ML eingesetzt werden. (Kapitel 6.2.1 [87]). • In SIA 382/5:2021 [1] sind Grenzwerte für den Druckabfall, die Luftgeschwindigkeit und Türspalthöhen (max. 7 mm Höhe) definiert. • In SIA 382/5:2021 [1] sind die Dimensionen von Überström-luftdurchlässen definiert.
Normative Lösungsansätze (Vorschlag)	• Definition maximale Lärmbelastung und minimales Schalldämm-Mass für den Einsatz von Nachströmöffnungen.
Offene Forschungsfragen	• keine

Passive Kühlung durch Nachtlüftung

Tabelle 64: Komponenten für die Nachtlüftung

Planungsthema	Komponenten für die Nachtlüftung
Identifizierte Probleme / Verbesserungsbedarf resp.-potentiale	• Dimensionierung der Aussenbauteil-Luftdurchlässe (inkl. automat. Fenster etc.) entspricht nicht der ggf. recht unterschiedlichen geforderten Luftmengen für einerseits die Raumluftqualität und andererseits die passive Kühlung durch Nachtlüftung. • Für die passive Kühlung durch Nachtlüftung mit NL oder HL ist eine grosse Bandbreite für den Dimensionierungsparameter Öffnungsfläche zu Bodenfläche feststellbar. In [46] werden 2 % bis > 8 % angegeben (typischer Wert: 5 %). In [38] 3 – 5 %. In SIA 180:2014 [3] werden mindestens 5 % gefordert. • Durch die Nachtlüftung können sich Probleme beim Wetterschutz (v.a. wenn manuell bedient) und Einbruchschutz ergeben, die zu lösen sind.



Planungsthema	Komponenten für die Nachtlüftung
Hinweise zu Anforderungen und Lösungsansätze	• Bei hybriden Systemen mit mehreren Funktionen (wie bei Grundlüftung und Nachtlüftung) müssten die beiden Anforderungen separat behandelt werden (da vermutlich auch unterschiedliche Bauteile bzw. zumindest Regelstrategien). • Hinweise zur Wirksamkeit und Auslegung von Lüftungsöffnungen in der Fassade für NL sind in [38] zu finden. Neben einfachen und grossen Lüftungsöffnungen ist ein gut durchdachtes Wetterschutzgitter essentiell, mit möglichst kleinem Strömungswiderstand. Es dient auch zur Absturzsicherung, und als Schutz gegen Einbruch und Vandalismus. • Mit dem vermehrten Auftreten der Tigermücke gewinnt der Insektenschutz an Bedeutung. Insektenschutzgitter/Netze erhöhen den Druckverlust, resp. reduzieren den Luftvolumenstrom. • Einfache Methode zur Abschätzung des Nachtkühleffektes für ein bestimmtes Gebäude in Funktion Gebäudewärmekapazität, interne Lasten, Aussenluftraten und Klimadaten [54]. • Simulationen können die Unsicherheiten bei der Beurteilung der Wirksamkeit von Nachtlüftung mittels NL oder HL reduzieren [60], [112] resp. werden als wichtiger Bestandteil einer integralen Planung aufgeführt [46].
Normative Lösungsansätze (vorhandene Normen)	• Grundsätzlich gelten für die Nachtlüftung die Grundsätze zur Dimensionierung in SIA 180:2014 [3], Kapitel 5.2. Diese beinhalten auch Systeme mit NL. Weitere Erläuterungen dazu sind in der Wegleitung SIA 4001:2022 zur SIA 180:2014 [135] vorhanden.
Normative Lösungsansätze (Vorschlag)	• Berücksichtigung Revision SIA 382/1:2014 (in prSIA 382/1:2022-06 [101] ist ein informativer Anhang I zur Fensterlüftung und zur «Thermisch bedingten Fensterlüftung» vorgesehen). Anmerkung: Derzeit können noch keine verbindlichen Angaben zur geplanten Überarbeitung gemacht werden.
Offene Forschungsfragen	• Welche zusätzlichen Festlegungen sind für die Nachtlüftung erforderlich (z. B. Analyse typischer Konzepte für Wohn und Bürobau sowie guter Lösungsoptionen dazu).



Filterung (SIA 382/5, Kap. 5.3.6)

Tabelle 65: Filter

Planungsthema	Filter
Identifizierte Probleme / Verbesserungsbedarf resp.-potentiale	• Die Anforderungen für hybride Systeme sind nicht definiert. • Vorhandensein Filter bei Aussenbauteil-Luftdurchlässen: Qualitativ minderwertige oder keine Filter (Anlage und FL) [34]. • Druckabfall von Filtern in Aussenbauteil-Luftdurchlässen zu hoch für natürliche Lüftung. • Minderung Zuluftvolumenströme durch Filter beachten. Exemplarische Messungen zeigten: - Reduktionen durch M5-Filter (gem. ISO 16890: ISO ePM10 50/55/60 %) zwischen 14 – 27 % (im Vergleich zu ALD ohne Filter) [28]. - 9 – 35 % höhere Druckverluste bei verschmutzten G3-Filter (gem. ISO 16890: ISO Coarse 45/50/55 %) und über die 42 untersuchten ALD's um bis zu 60 % (im Mittel 17 %) reduzierte Zuluftvolumenströme im Vergleich zwischen verschmutzten und neuen Filtern [29]. • Einfluss Verschmutzung bei feuchtegeregelten Abluftdurchlässen. In Messungen in [75] mit deutlich sichtbarer Verschmutzung blieben die Werte innerhalb der Produkttoleranz [sic]. • Keine Zugänglichkeit und Zuständigkeit für Wartung (z. B. Filterwechsel und Reinigung); [34], [29].
Hinweise zu Anforderungen und Lösungsansätze	• Bei hybriden Systemen mit mehreren Funktionen (wie bei Grundlüftung und Nachtlüftung) müssten die beiden Anforderungen separat behandelt werden (da vermutlich auch unterschiedliche Bauteile bzw. zumindest Regelstrategien).
Normative Lösungsansätze (vorhandene Normen)	• Für rein mechanische Lüftungsanlagen gelten die Anforderungen nach SIA 382/1:2014 [2] (Kap. 5.13), SIA 382/5:2021 [1] (Kap. 5.3.6). • Für reine Fensterlüftung ist in SIA 382/1:2014 (Kapitel 4.2.2) ein Vorgehensablauf für die Planung festgehalten. Für die Zulässigkeit einer reinen Fensterlüftung werden in SIA 382/1:2014 die Grenzen in Kapitel 3.2.3.5 definiert. • Für die hybride Lüftung müssten die Anforderungen noch festgelegt werden. • Allgemein gelten für die Nachtlüftung die Grundsätze zur Dimensionierung in SIA 180:2014 [3], Kap. 5.2. Diese beinhalten auch Systeme mit natürlicher Lüftung, aber keine konkreten Anforderungen zur Filtrierung der Aussenluft. Kommentar: bei Lagen mit starker Aussenluftbelastung ist eine ungefilterte Nachtlüftung kritisch zu hinterfragen.



Planungsthema	Filter
Normative Lösungsansätze (Vorschlag)	• Für die hybride Lüftung ist festzulegen, nach welchen Grundsätzen und mit welchen Anforderungen eine Filterung der Aussenluft gefordert wird. (Auch ob dies für Elemente der mechanischen Lüftung in der gleichen Nutzungseinheit ebenfalls gilt). • Ein möglicher Ansatz ist, dass z. B. die Beurteilungsgrenze für die Aussenluftbelastung einer reinen Fensterlüftung als Kriterium für die Anforderung einer Filterung der Aussenluft bei hybriden Systemen angesetzt wird.
Offene Forschungsfragen	• Welche Vorteile und Einschränkungen ergeben sich bei den einzelnen Konzepten der hybriden Lüftung durch spezifische Anforderungen an die Filterung, an den Schutz vor Pollen und an den Insektenschutz?



Steuerung und Regelung (SIA 382/5, Kap. 5.3.8)

Vorbemerkung: Es wird nicht zwischen NL und ML unterschieden, da die Regelkonzepte integral beide Systemteile erfassen müssen.

Tabelle 66: Steuerung und Regelungskonzepte (keine Komponenten im Sinne von Produkten)

Planungsthema	Steuerung und Regelung
Identifizierte Probleme / Verbesserungsbedarf resp.-potentiale	• Bei Konzepten mit automatischen Lüftungsöffnungen ist die Schnittstelle zwischen den verschiedenen involvierten Gewerken (Architektur, Fassade, Elektro / MSRL und HLK) für die Funktion der Regelung kritisch. Daher sind klar definierte Schnittstellen und (integrale) Testabläufe zentral. • Die Schnittstelle und Abhängigkeiten zwischen Sonnenschutz und Lüftungsfunktionen muss im Regelkonzept klar festgelegt werden. Entsprechende Prioritäten und Reaktionen (z. B. Sperrung bzw. Funktionsumschaltung) sind festzulegen. • Eine wirkungsvolle Regelung/Steuerung eines HLS kann relativ komplex sein. Dies bedarf guter Fachkenntnisse bei Installation, Abnahme, und auch später für die Sicherstellung eines korrekten Betriebes [43] und der Betriebsoptimierung, ggf. über einen längeren Zeitraum (z. B. für Nachtlüftung [46]). • Falsche Heizkurven-Einstellung und somit zu warme Raumtemperaturen führen zu verstärktem Fensterlüften bei hybrider Abluftanlage (MFH Genf [63]). • HLS in MFH Genf [63] ist nach Feuchte geregelt, auch nach CO₂ wäre sinnvoll, bedürfte aber ev. angepasster Regelkonzepte und - Algorithmen infolge der hohen zeitlichen Variabilität bei NL. • Bis heute fehlen neue, intelligente, nicht regelbasierte Lüftungs- und Regelstrategien für hybride Lüftungssysteme mit Fenstern, mit Trade-off zwischen Kriterien Energie, Raumluftqualität und thermischer Behaglichkeit [58], und unter Einbezug des Nutzerverhaltens [57]. • Eine Nutzerbefragung zeigt, dass die permanent betriebenen Anlagen von den Nutzern in Bezug auf Lärm etwas besser bewertet werden [34] (könnte allerdings ein schalltechnisches Planungsproblem sein). • CO₂-Sensoren: Preis, Stabilität, Zuverlässigkeit (z. B. Alterungsverhalten).



Planungsthema	Steuerung und Regelung
Hinweise zu Anforderungen und Lösungsansätze	• Es ist ein gewerkeübergreifender Regelbeschrieb erforderlich, der alle in die Regelung involvierten Elemente behandelt. Für die Planung der Inbetriebnahme muss darin für die wesentlichen Funktionen ein Vorgehen für die Tests bei der Inbetriebnahme beschrieben werden. • Regelungssysteme, die durch Nutzende beeinflusst/übersteuert werden können, finden meist eine grössere Nutzer-Akzeptanz [39]. • Allerdings ist für die passive Kühlung durch Nachtlüftung eine automatische Steuerung ohne notwendige Nutzermitwirkung vorteilhaft [43]. In [77] wurde eine separate Regelung für die automatische Nachtlüftung eingesetzt. • Prädiktive / modellbasierte Regelung hat signifikante Vorteile bezüglich Energiebedarf und Behaglichkeit, ist aber schwierig zu implementieren [26]. • Sehr komplizierte Steuerungs- und Regelungskonzepte sind fehleranfällig [69]. • Adaptive Regelungs-Algorithmen, die das Nutzerverhalten durch KI und Machine Learning erfassen und berücksichtigen können. • Moderne Sensorlösungen ermöglichen mit relativ kleinem Aufwand die Erfassung notwendiger Parameter (Systeme aktuell oft noch in Entwicklung / Markteinführung daher noch keine Langzeiterfahrungen und wenige eingeführte Lösungen). • HL stellt spezielle Anforderungen an die Messung von Volumenströmen oder Druckdifferenzen zur Regelung der Anlage. Dies erfordert bei der Festlegung der Anforderungen an die Messtechnik spezielle Beachtung (siehe auch Anmerkungen in • Tabelle 13).
Normative Lösungsansätze (vorhandene Normen)	• Basierend auf den in SN EN 16798-1:2019 [14] definierten Kategorien und Kennwerten könnte die Festlegung von Regelparametern für eine Anlage erfolgen. • Anforderungen an die Schnittstelle zur Ansteuerung der Fensteröffnung und zugehörigen Sensoren/Aktoren werden beispielsweise in der Normenserie SN EN 50491 beschrieben. In SN EN 50491-6-1: 2014 [145] z. B. Hinweise zu Installation und Planung.
Normative Lösungsansätze (Vorschlag)	• Festlegung von empfohlenen (zulässigen?) Regelkonzepten (z. B. für die in Kapitel 5.4 definierten Konzepte) basierend auf EN 16798- 1:2019.



Planungsthema	Steuerung und Regelung
Offene Forschungsfragen	• Welche Möglichkeiten gibt es? CO₂, Zeitschaltung ... (bestimmende Faktoren Winter: Luftqualität; Sommer: Raumtemperatur). • Ist relative Feuchte ein gleichwertiger RLQ-Indikator wie CO₂? [75] • RLQ-Parameter für Regelung: Nur aktuelle Werte / Grenzwerte oder auch Berücksichtigung von (rollenden) Mittelwerten / Integralwerten [49], [50]? Siehe Abschnitt zu Luftqualität, Tabelle 39. • Sensoren für CO₂ und Feuchte: Zuverlässigkeit, Genauigkeit, Serviceintervalle? Welche Abstraten sind nötig? Positionierung der Sensoren: welcher Ort in der Wohnung / im einzelnen Raum / bei Kaskadenlüftung? Genügt ein Sensor im Abluftdurchlass? Büro: Sensoren in der Nähe des Arbeitsplatzes? • Einfach(er) zu implementierende prädiktive/modell- resp. datenbasierte Regelungen [26].

6.5.4 Lüftungssysteme (SIA 382/5, Kap. 5.4)

Die verschiedenen Lüftungssysteme sind in Kapitel 5.4 beschrieben.

6.5.5 Energetische Anforderungen und Luftdichtheit (SIA 382/5, Kap. 5.5)

Tabelle 67: Energetische Anforderungen für Einzelkomponenten, Anforderungen an Luftdichtheit für Einzelkomponenten

Planungsthema	Energetische Anforderungen für Einzelkomponenten Anforderungen an Luftdichtheit für Einzelkomponenten
Identifizierte Probleme / Verbesserungsbedarf resp.-potentiale	• Bei hybriden Systemen stellt sich die Frage, wie die Anforderung an eine WRG für das System zu behandeln ist (für rein mechanische Systeme gelten die Anforderungen nach MuKEN:2014 [22], für Fensterlüftung sind keine Anforderungen vorhanden). • Bei der Luftdichtheit können spezifische Anforderungen an Einzelkomponenten bezüglich der Luftdichtheit notwendig sein.
Hinweise zu Anforderungen und Lösungsansätze	• Für rein technische Geräteanforderungen (z. B. Ventilatoreffizienz, Leckagen, etc.) können die Anforderungen, die für die mechanischen Systeme gelten, angewendet werden. • Die zu stellenden Anforderungen an die Luftdichtheit (bzw. Rückflussverhinderung) von einzelnen Elementen ist stark vom Konzept, dem Gebäude (Höhe) und Standort (Klima) abhängig und ist mit Blick auf das Gesamtkonzept festzulegen.



Planungsthema	Energetische Anforderungen für Einzelkomponenten Anforderungen an Luftdichtheit für Einzelkomponenten
Normative Lösungsansätze (vorhandene Normen)	• Für mechanische Anlagen sind die Anforderungen bezüglich WRG vorhanden (MuKE:2014 [22]). Es ist unklar, wie diese für hybride Systeme anwendbar sind. • Anforderungen an Einzelkomponenten sind durch die jeweiligen Produkteprüfnormen und Richtlinien im Grundsatz abgedeckt. • Die Luftdichtheit von Elementen (z. B. ALD, Klappen) kann mit den verfügbaren Prüfnormen für Bauteile abgedeckt werden (z. B. Luftdichtheit / Gegenstromfähigkeit nach SN EN 13141-1:2019 [143] (bzw. SN EN 12207:2016 [146] für «Lüftungsfenster»).
Normative Lösungsansätze (Vorschlag)	• Für die WRG müsste ein möglichst pragmatisches Vorgehen entwickelt werden, das energetisch sinnvolle Systeme nicht behindert (aber doch ungeeignete verhindert). • Ev. ist ein Nachweis über die effektiven Lüftungsverluste (wie für Minergie angewendet) dafür eine Option.
Offene Forschungsfragen	• keine



Tabelle 68: Strafe in Energienachweisen für HLS

Planungsthema	Es sollte vermieden werden, dass Konzepte mit HLS in den Energienachweisen bestraft werden. Dies könnte bei der Berechnung der Lüftungswärmeverluste in SIA 380/1:2016 [23] schon jetzt der Fall sein.
Identifizierte Probleme / Verbesserungsbedarf resp.-potentiale	• Bei den Standardlösungen nach MuKEN:2014 [22] (EN 101a) erhalten nur Lüftungsanlagen mit Temperatur-Änderungsgrad von min. 80 % eine Erleichterung. Alle anderen Anlagen (ob rein mechanisch oder hybrid) werden gleich wie Gebäude ohne mechanische Lüftung behandelt. • Bei der rechnerischen Lösung nach MuKEN:2014 (EN 101b) existiert nur eine beschränkte Zahl von vordefinierten Lüftungskonzepten. Für hybride Lüftungskonzepte wäre eine projektspezifische Festlegung des thermisch wirksamen Aussenluftvolumenstromes wünschenswert. • Gemäss MuKEN:2014 müssen einfache Abluftanlagen mit einem Abluftvolumenstrom mehr als 1'000 m³/h und einer Betriebsdauer von mehr als 500 h/a mit einer WRG oder Abluftwärmenutzung ausgerüstet werden, wenn nicht mit einer fachgerechten Energiebedarfsberechnung nachgewiesen wird, dass kein erhöhter Energiebedarf eintritt. Nicht klar definiert ist dabei, wie die Berechnung auszuführen ist. • Wenn beim Nachweis jeweils ein Referenzgebäude mit regulärer Lüftung mit WRG gerechnet wird, kann es dann zu Problemen kommen, wenn bewusst ein kleinerer Anteil an mechanischer Lüftung (um die real nur sehr seltenen vorkommenden Spitzen über natürliche Lüftung abzudecken) installiert wird. Im Nachweis wird davon ausgegangen, dass die Differenz der Luftmengen ohne WRG ist (was korrekt ist) und die entsprechenden Wärmeverluste über die Heizung gedeckt werden müssen (was nicht ganz korrekt ist, da bei solch hohen Belegungen ja die internen Gewinne diese Differenz grösstenteils abdecken). Diese Tatsache wird in den Nachweisen (z. B. MuKEN:2014) nicht abgebildet und die Systeme schneiden entsprechend schlecht ab – bzw. dies muss irgendwie kompensiert werden. Je nach Flächenanteil von HLS im Gebäude ist dies jedoch nicht möglich/sinnvoll machbar.
Hinweise zu Anforderungen und Lösungsansätze	• keine
Normative Lösungsansätze (vorhandene Normen)	• Als Basis könnte die Berechnung gemäss SIA 380/1:2016 Kapitel 3.5.5. (Formel 15 und Tabelle 23) [23] dienen.



Planungsthema	Es sollte vermieden werden, dass Konzepte mit HLS in den Energienachweisen bestraft werden. Dies könnte bei der Berechnung der Lüftungswärmeverluste in SIA 380/1:2016 [23] schon jetzt der Fall sein.
Normative Lösungsansätze (Vorschlag)	• Ein klares und einfach durchzuführendes Verfahren für die fachgerechte Energiebedarfsberechnung der Lüftungsverluste von hybriden Lüftungsanlagen ist in den Normen festzulegen. Als Basis könnte die Berechnung gemäss SIA 380/1:2016 Kapitel 3.5.5. (Formel 15) [23] dienen. Für die praktische Anwendung müsste die zugehörige Tabelle 23 in SIA 380/1:2016 (Kap. 3.5.5.2) ergänzt werden bzw. ein Berechnungsverfahren definiert werden.
Offene Forschungsfragen	• Wie lassen sich die stark projektspezifischen Konzepte hybrider Lüftungsanlagen auf eine stark vereinfachte Kategorisierung reduzieren, um mit einfachen Mitteln einen plausiblen Korrekturfaktor für die Lüftungseffektivität hybrider Lüftungssysteme zu bestimmen? • Wie kann die geforderte fachgerechte Energiebedarfsberechnung vereinfacht und für übliche Fälle standardisiert werden?

6.5.6 Fazit für die Praxis: Berechnung, Bemessung und technische Anforderungen

Die in den SIA 382/5:2021 [1], Kapitel 5.1 und Kapitel 5.2.1 beschriebenen Planungsthemen sind auch für HL-Systeme anwendbar. Bei einige Komponenten müssen jedoch die Anforderungen in Bezug auf NL beachtet werden (z. B. geringere Druckdifferenzen bei ALD).

Auch bei den Definitionen des Normallüftungsbetriebs nach SIA 382/5:2021 [1] Kapitel 5.2.2 und des Grundlüftungsbetriebs im Kapitel 5.2.3 müssen die spezifischen Gegebenheiten bei HL angepasst werden.

6.6 Prüfungen (SIA 382/5, Kap. 6)

6.6.1 Grundsätze der Übergabe (SIA 382/5, 6.1 und Grundsätze SIA 382/5, 6.2)

Im Grundsatz ist der Zweck der Übergabe identisch wie bei Lüftungskonzepten mit rein mechanischen Lüftungsanlagen. Bei den technischen Spezifikationen und Prüf- und Messverfahren (für mechanische Anlagen nach SN EN 12599:2012 [147]) müssen die Anforderungen um spezifische Punkte, die die natürliche Lüftung betreffen (z. B. Dimensionierung und Funktionalität deren Elemente) erweitert werden.

Auf der anderen Seite muss berücksichtigt werden, dass für den Teil der natürliche Lüftung keine Abnahmemessungen für Luftmengen möglich sind wie bei der mechanischen Lüftung. Dies muss im Konzept Inbetriebnahme und den geplanten Funktionsmessungen berücksichtigt werden.

Insgesamt muss den Tests aller Funktionen der Anlage ein bedeutend grösseres Gewicht beigemessen werden, da diese Funktionalität die Leistung der Anlage massgebend beeinflusst. Da diese Tests oft gewerkeübergreifende Anlagen beinhalten, wäre es sinnvoll, diese in der Art von Integralen Test zu planen und durchzuführen.

Vorgaben für die Abnahme sind in SIA 118 [148] und SIA 118/380 [149] sowie in den Abnahmeunterlagen der Fachverbände [150], speziell im Kapitel «Leistungsgarantie Komfortlüftung» (S.25) und SWKI 96-5 (Abnahmeprotokoll: Lüftungs- und Klimaanlageanlagen), enthalten.



Die Abnahmeunterlagen enthalten mit heutigem Stand keine Vorgaben für HLS. Für die häufigsten Varianten, wie z. B. die in Kapitel 5.4, könnten die Unterlagen mit spezifischen Punkten erweitert werden.

Beispiel:

Beim Lüftungskonzept gemäss Kapitel 5.4.3 «Wohnen mit manueller Fensterlüftung und bedarfsgesteuerter Abluftanlage in Bad/WC» wurde bis anhin bei der Übergabe/Abnahme nur die Funktionalität der Abluftanlage in den Nasszellen überprüft. Neu soll bei der Abnahme das ganze Lüftungssystem getestet werden. Das heisst in den Revisionsunterlagen wird die Funktion des ganzen Lüftungskonzeptes inkl. manueller Fensterlüftung und Überströmungen beschrieben resp. instruiert. Bei Fensterlüftung ist keine Luftmengenmessung möglich, daher werden in diesem Beispiel nur die Überströmungen kontrolliert (wurden die vorgesehenen Überström-Luftdurchlässe installiert, resp. entsprechen die Luftspalten unter der Tür den Vorgaben?). Bei automatischer Fensterlüftung soll die Funktionalität ebenfalls bei der Abnahmemessung getestet werden.

6.6.2 Funktionsmessungen (SIA 382/5, Kap. 6.3)

Tabelle 69: Funktionsmessungen

Planungsthema	Funktionsmessungen
Identifizierte Probleme / Verbesserungsbedarf resp.-potentiale	• Funktionskontrolle Komponenten oder auch Kontrolle Luftmengen, RLQ, etc.? • Überprüfung der natürlichen Lüftung im Betrieb (z. B. unter Berücksichtigung der variablen Aussentemperatur- und Windverhältnisse)? Ist bei der Überprüfung Umzuschalten NL – ML – NL berücksichtigt? • Abgleich Abluftmengen pro Stockwerk in mehrgeschossigem MFH im passiven Betrieb [75]. Wie kann im Rahmen der Funktionsmessungen sichergestellt werden, dass der Abgleich bei den ändernden Bedingungen der natürlichen Lüftung möglichst gut erhalten bleibt (auch eine Konzeptfrage)? • Bei Gebäuden mit komplexem Zusammenspiel aus Anlagentechnik und natürlicher Lüftung wird im Rahmen eines Forschungsprojektes ein umfangreiches Monitoring durchgeführt. Auswertungen der detaillierten Messungen zeigten Fehler in Ausführung und Betrieb der Anlagen auf. Ohne das Monitoring wären die Gebäude mit erheblichen, energierelevanten Mängeln betrieben worden (Bürogebäude [69]: Ausführung, MSR. Wohngebäude [74]: Verhalten und Fehlbedienung durch Nutzende/ Ungenügende Information). • Die Zu- und Abluftvolumenströme sowie der Unterdruck (Anteil Infiltration) sollten zwingend bei der Einregulierung geprüft und allenfalls angepasst werden (in welchem Betriebsfall?). • Thema Abnahme bei komplexen Gebäuden: Wie kann sichergestellt werden, dass Anlagen und deren regelungstechnische Verknüpfung sich so verhalten, wie es in der Planung vorgesehen wurde [69]?



Planungsthema	Funktionsmessungen
Hinweise zu Anforderungen und Lösungsansätze	• Frühzeitige Planung der erforderlichen Funktionsmessungen (Wie, Wer, Was?). • Sinnvollerweise Durchführung der Funktionsmessungen am Gesamtsystem mit allen beteiligten Gewerken (vergleichbar mit integralen Tests). Dies bedarf einer entsprechenden Planung und eines dafür Verantwortlichen (Projektplanung).
Normative Lösungsansätze (vorhandene Normen)	• SN EN 14134:2019 [5] behandelt die Leistungsprüfung und Funktionsprüfungen von Lüftungsanlagen in Wohnungen im Grundsatz für beide Arten der Lüftung (natürlich, mechanisch). • SIA Merkblatt 2046:2015, «Integrale Tests von Gebäudetechniksystemen» [151] zeigt Planungsabläufe, Leistungen, Verantwortlichkeiten und Informationen zur Durchführung von Tests an komplexen Anlagen auf, die auch für HL angewendet werden können (sollen). • Sofern Grenzen für die einzelnen Parameter festgelegt werden und Messwerte vorliegen, könnte eine Bewertung analog der Vorschläge in SNG CEN/TR 16798-2:2019, Anhang D und E [25] erfolgen. Es werden drei Methoden vorgeschlagen, die alle auf eine Langzeitbewertung der Grössen zielen. Auch im Entwurf für prEN 15665:2022-09-30 [11] sind Methoden für die Bewertung angedacht. Hier ist die finale Fassung abzuwarten. Im Paper von Li et. al. [118] wird die Langzeitbewertung von normativen Komfortindizes untersucht und es werden Empfehlungen gegeben (Überschreitungseignisse korrelieren besser mit Nutzerbeurteilungen als gemittelte Komfortwerte).
Normative Lösungsansätze (Vorschlag)	• Für die häufigsten HLS soll ein Vorgehen für die Funktionskontrolle erarbeitet werden. Für den Teil der NL ist keine «Funktionskontrolle» in herkömmlichen Sinnen möglich. Die Norm soll daher Vorgaben zur Kontrolle der Komponenten geben.
Offene Forschungsfragen	• Ist eine Langzeitbewertung der Lüftungssysteme, z. B. mit Angabe für zulässige Abweichungen sinnvoll und machbar? • Wie können die gestellten Anforderungen an die RLQ überprüft werden? Ist eine messtechnische Erfassung und eine Bewertung z. B. gemäss SNG CEN/TR 16798-2:2019, Anhang D (Parameter wie z.B. Überschreitungsstunden) und E (Beurteilungskriterien für Abweichungen von Sollbereichen) [25] praktikabel? • Einzelwertbetrachtung versus gesamtheitliche Erfassung und Beurteilung (predictive- vs. performance-based)? • Welches sind die wesentlichen Funktionsmessungen, die für die in Kapitel 5.4 dargestellten Systeme durchzuführen sind? • Wie ist mit variablen Wind- und Temperaturverhältnissen bei der Abnahme umzugehen?



6.6.3 Instruktion (SIA 382/5, Kap. 6.4)

Tabelle 70: Instruktion

Planungsthema	Instruktion
Identifizierte Probleme / Verbesserungsbedarf resp.-potentiale	• Ein Effekt der Nutzerinformation auf die Zufriedenheit der Nutzenden mit den Fensterlüftern kann nicht nachgewiesen werden. Allerdings besteht mit Nutzerinformation eine schwache Tendenz dazu, Dauerlüftung im Winter zu vermeiden [34]. • Einfluss Fensteröffnungsverhalten der Bewohner:innen bei hybrider Abluftanlage mit Fensterlüfter. In [63] v.a. abhängig von Raumtemperatur und RLQ (CO₂). • Einfluss Fensteröffnungsverhalten der Bewohner:innen auf Energieverbrauch Gebäude (ist durch Messungen kaum direkt zuordenbar, siehe Messkampagne in 90 sanierten MHF-Wohnungen, [73] Bild 5). • Von Nutzern werden fehlende Informationen zum Lüftungsbetrieb beanstandet (Abluftanlage im Zusammenhang mit ALD) [28].
Hinweise zu Anforderungen und Lösungsansätze	• HLS sind ggf. mit einer fortschrittlichen, aber auch anspruchsvollen Regelung ausgestattet. Dies bedarf entsprechender Dokumentation und Instruktion [39]. • Elemente, die einen Nutzereingriff erfordern, müssen intuitiv verständlich sein (muss im Konzept nutzerbezogen berücksichtigt werden). • Um falsches Bedienungsverhalten zu vermeiden, muss aus der Planung / Ausführung eine geeignete Dokumentation hervorgehen aus der eine gut verständliche (und so möglichst wirksame) Nutzerinformation erstellt werden kann. • Wenn in den Räumen regelmässige Wartungsarbeiten erforderlich sind (z. B. Filterwechsel o.ä.) sollten diese Kontakte mit den Nutzern auch für eine Auffrischung (in Erinnerung rufen) der korrekten Anlagenbedienung genutzt werden.
Normative Lösungsansätze (vorhandene Normen)	• SWKI BT104-01:2021 «Betreiben und Instandhalten von gebäudetechnischen Anlagen – Teil 1: Grundlagen» [152]. Diese Richtlinie verweist im Weiteren auf die deutsche Richtlinie BTGA-Regel 2.001:2021-09 «Anforderungen an die Anlagendokumentation in der TGA» [153] sowie auf VDI 6026 Blatt 1:2022-08 [154] (Anmerkung: der Verweis bezieht sich auf die Vorgängerversion, die aber nicht mehr gültig ist).
Normative Lösungsansätze (Vorschlag)	• keine
Offene Forschungsfragen	• keine



6.6.4 Fazit für die Praxis: Prüfungen

Die Übergabe und Abnahme von HL- Anlage hat den selben Zweck wie bei rein ML. Problematisch ist, dass für den Teil der NL- keine Abnahmemessungen durchgeführt werden können. Die momentan erhältlichen Vorgaben nach SIA 118 [148] und SIA 118/380 [149] sowie auch die Abnahmeunterlagen der Fachverbände enthalten keine Vorgaben für HLS.

Insgesamt muss den Tests aller Funktionen der Anlage ein bedeutend grösseres Gewicht beigemessen werden, da diese Funktionalität die Leistung der Anlage massgebend beeinflusst. Da diese Tests oft gewerkeübergreifende Systeme beinhalten, wäre es sinnvoll, diese in der Art von Integralen Test zu planen und durchzuführen.



6.7 Betrieb und Instandhaltung (SIA 382/5, Kap. 7)

6.7.1 Allgemeines (SIA 382/5, Kap. 7.1)

Tabelle 71: Bedienung und Wartung der Anlage

Planungsthema	Bedienung und Wartung der Anlage
Identifizierte Probleme / Verbesserungsbedarf resp.-potentiale	• Bestimmungsgemässer Gebrauch von Lüftungskomponenten, Schnittstellenproblem. • Filter werden nicht immer regelmässig gewechselt [34]. • Verteilte Anordnung und Vielzahl einzelner Komponenten eines HLS (z. B. automatische Fenster oder geregelte Luftdurchlässe) erhöhen das Risiko von Defekten oder Fehlfunktionen und erschweren deren Detektion [39]; [76].
Hinweise zu Anforderungen und Lösungsansätze	• In der Anlagendokumentation zuhanden der Bauherrschaft / der Betreiber:in ist eine spezifisch auf die HL zugeschnittene Instruktion zum Betrieb und zur Instandhaltung der Anlage erforderlich. Dieses Dokument ist gewerkübergreifend zu erstellen (z. B. mit Lead bei der «Hauptplaner:in Lüftungskonzept»). Dieses Dokument muss auch die erforderliche Instruktion der Nutzenden enthalten (wiederkehrende Aufgabe des Betreibers, siehe auch Tabelle 70).
Normative Lösungsansätze (vorhandene Normen)	• SWKI BT104-01:2021; «Betreiben und Instandhalten von gebäudetechnischen Anlagen – Teil 1: Grundlagen» [152]. Diese Richtlinie fokussiert auf die Grundlagen und enthält keine spezifischen Ausführungen zu den Spezialitäten bei HL. • Richtlinienentwurf prSWKI BT104-02; «Betreiben und Instandhalten von gebäudetechnischen Anlagen – Teil 2: Lüftungs- und Klimaanlage» [155]. Dieser Richtlinienentwurf basiert auf VDI 3810 Blatt 4: 2013 [156]. Diese bezieht sich generell auf das Betreiben und Instandhalten von RLT-Anlagen (nicht spezifisch auf HL).
Normative Lösungsansätze (Vorschlag)	• Filterwechsel mit Anlagenwartung verbinden.
Offene Forschungsfragen	• keine



6.7.2 Wartung und Inspektion (SIA 382/5, Kap. 7.2)

Tabelle 72: Filter / Unterhalt

Planungsthema	Filter / Unterhalt
Identifizierte Probleme / Verbesserungsbedarf resp.-potentiale	• Filter bei Abluftanlagen werden nicht immer regelmässig gewechselt [34]. • Dies gilt auch für Filter in Fensterlüftern [34]. • Minderung Zuluftvolumenströme durch Filterverschmutzung der ALD's um bis zu 60 % (im Mittel 17 % über 42 untersuchte Elemente) im Vergleich zu neuen Filtern [29]. • Nicht nur der Filter selbst, auch ein allfällig vorhandenes Insektenschutzgitter muss gereinigt werden da dies einen wesentlichen Einfluss auf den Druckverlust haben kann [29]. • Oft ist bei Aussenbauteil-Luftdurchlässen im Gegensatz zu Lüftungsgeräten ein regelmässiger professioneller Service nicht organisiert [29].
Hinweise zu Anforderungen und Lösungsansätze	• In der Anlagendokumentation zuhanden der Bauherrschaft / der Betreiber:in ist das empfohlene Wartungsintervall der vorhandenen Filter klar auszuweisen (mit Angaben zu Typ und Klasse). Diese Angabe muss an die individuellen Verhältnisse der Anlage (Konzept, Druckdifferenzen, Standort) angepasst sein. • Auch Elemente wie Aussenluftgitter, Insektenschutzgitter und Luftdurchlässe verschmutzen und müssen von einer Fachperson inspiziert und gereinigt werden. • Optisches, bzw. akustisches Signal, wenn der höchste zulässige Druckverlust (Differenzdruck) erreicht ist [86].
Normative Lösungsansätze (vorhandene Normen)	• SWKI VA104-01:2019; «Teil 1: Hygieneanforderungen an raumluftechnische Anlagen und Geräte» [157] (entspricht VDI 6022, Blatt 1). Diese Richtlinie fokussiert auf ML und enthält keine spezifischen Ausführungen zu den Spezialitäten bei HL.
Normative Lösungsansätze (Vorschlag)	• Wartung / Wechsel Filter bei Aussenbauteil-Luftdurchlässen vorschreiben (Filter sind derzeit nur für ML definiert).
Offene Forschungsfragen	• keine



6.7.3 Monitoring (SIA 382/5, Kap. 7.4)

Tabelle 73: Monitoring von haustechnischen Systemen

Planungsthema	Monitoring
Identifizierte Probleme / Verbesserungsbedarf resp.-potentiale	• Der Energieverbrauch eines Verwaltungsgebäudes mit komplexem Energiesystem und Gebäudetechnik kann durch ein umfangreiches Monitoring im Rahmen eines Forschungsprojektes erheblich gesenkt werden [71]. Bei einem weiteren Gebäude liegt der Verbrauch aber immer noch über den Planungswerten [69]. Wo läge er ohne das Monitoring? Dieses Phänomen ist auch von anderen Projekten, z. B. Wohnbauten bekannt [74] [61]. • Wenn ein Monitoring (Messdatenerfassung und Betriebsoptimierung) geplant ist, dann sollten alle relevanten Planenden (z. B. Haustechnikplaner:innen) von Beginn an eingebunden werden. Die Messtechnik sollte schon in der Projektierung und Ausschreibung berücksichtigt werden (auch der Einbauplatz dafür!), ebenso die spätere Messdatenauswertung. Es sollte definiert werden, welche Messdaten mit welcher Genauigkeit und Abtastrate erforderlich sind. Die Messdaten sollten modular aufgebaut sein. Bei Geräten mit Akku muss beachtet werden, dass dieser öfters ausgetauscht werden muss [74].
Hinweise zu Anforderungen und Lösungsansätze	• Basis Monitoring in vorhandene GL integrieren (ist vermutlich oftmals schon der Fall). • Vorgehenskonzepte in Anlehnung an «PERFORMANCE by Minergie + energo» (ein auf Minergie zertifizierte Gebäude zugeschnittenes Dienstleistungsangebot) bzw. «MQS® Betrieb» (ein auf Minergie zertifizierte Gebäude zugeschnittenes Beratungsangebot) von Minergie. • Eventuell auch Parameter zur Raumluftqualität wie CO₂ und Feuchte in das Monitoring einbeziehen.
Normative Lösungsansätze (vorhandene Normen)	• Für grosse Gebäude (min. 5000 m² EBF, Kategorien III bis XII nach SIA 380/1:2016 [23]) besteht in MuKEN:2014 [22] Art. 5.2 eine Ausrüstungspflicht der GA, die ein Monitoring ermöglicht (Formular EN-141). • SIA Merkblatt 2048 «energetische Betriebsoptimierung» [158]. • Bei grösseren Gebäuden am besten bereits von Beginn an ein technisches Monitoring gemäss SWKI BT105-01: 2021 «Facility-Management – Technisches Monitoring von Gebäuden und gebäudetechnischen Anlagen» [159] aufsetzen.
Normative Lösungsansätze (Vorschlag)	• Bei grossen Gebäuden Monitoring vorschreiben? (Limite nach MuKEN:2014 ausweiten). • Verknüpfung einer Monitoringanforderung mit den im Energienachweis zulässigen Berechnungskennzahlen der HL (Unterscheidung von «ohne» und «mit Monitoring»).



Planungsthema	Monitoring
Offene Forschungsfragen	Wie relevant ist der über die Zeit mögliche «Performance-Gap» mit / ohne Monitoring auf den Gesamtverbrauch? Für welche Konzepte ist dieser besonders gross (d.h. relevant). Wie z. B. [61] zeigt, kann auch bei ML z.T. eine wesentliche Differenz zwischen berechnetem und gemessenem Energiebedarf festgestellt werden.

6.8 Rückbau und Entsorgung (SIA 382/5, Kap. 8)

Grundsätzlich besteht ein Gebäude mit HL aus ähnlichen Elementen und Bauteilen wie ein konventionelles Gebäude. Daher sind für Gebäude mit HL im Prinzip dieselben Vorgaben und Richtlinien für Rückbau und Entsorgung anzuwenden.

Im Sinne des Gedankens der Kreislaufwirtschaft sind jedoch einem gesamthaften Rückbau der Anlage vorzuziehende Phasen wie beispielsweise den Phasen Repair (Reparieren), Refurbish (Erneuern) bzw. Reuse (Wiederverwenden) zukünftig stärkeres Gewicht einzuräumen. Insbesondere für diese Phasen ist gegenüber konventionellen ML bei HL die Abhängigkeit von Bauteilen mit verschiedener Lebensdauer deutlich höher, was berücksichtigt werden muss.

Aus diesem Grund ist es insbesondere bei HL sinnvoll, die Phase «Erneuerung» bzw. «Rückbau» im Projektpflichtenheft zu thematisieren und bereits dann festzulegen, welche Vorkehrungen bezüglich des Umgangs mit Bauteilen unterschiedlicher Lebensdauer getroffen werden (z. B.: MSRL-System, Lüftungskomponenten wie z. B. Ventilatoren, Fassadenkomponenten), damit eine Erneuerung / Retrofit ohne grossen Rückbau bzw. bauliche Eingriffe möglich ist. Bei HL besteht oft auch eine starke funktionelle Abhängigkeit verschiedener Komponenten unterschiedlicher Gewerke (und unterschiedlicher Lebensdauer). Diese Abhängigkeit ist bereits in der Planung zu berücksichtigen.



7 Synthese aus der Analyse der Planungsthemen

Bei der systematischen Erfassung der Planungsthemen ist es ein wichtiges Anliegen, die resultierenden offenen Forschungsfragen zu sammeln. Diese Zusammenstellung findet sich im nachfolgenden Kapitel 7.1. Ein weiterer wichtiger Punkt sind auch die Vorschläge für normative Lösungen von Planungsthemen. Diese Vorschläge grenzen meist den Normungsbedarf von spezifischen Fragestellungen sehr genau ein. Eine Übersicht dazu findet sich in Kap. 7.2. Für einige der im Rahmen des Projektes zusammengetragenen Planungsthemen, Problemstellungen und Fehlerquellen existieren bereits Lösungen. Die resultierenden Planungshinweise sind in Kap. 7.3 zusammengestellt.

7.1 Zusammenfassung offene Forschungsfragen

Nachfolgend sind die offenen Forschungsfragen aus Kapitel 6 gegliedert nach Themen und Normenabschnitt gem. SIA 382/5 zusammengefasst. Der hier gewählte Normenabschnitt für die Zuordnung des Themenbereichs entspricht nicht immer demjenigen aus Kapitel 6. Grund dafür ist, dass die Forschungsfragen aus einem behandelten Thema resultieren, das z. B. in SIA 382/5, Kap. 2 enthalten ist. Die Forschungsfrage ohne ihren Kontext passt möglicherweise inhaltlich besser zu SIA 382/5 Kap. 5. Im Sinne einer klaren Zuordnung wird daher die Logik innerhalb der SIA Kapitel verfolgt.

Die nachfolgenden Tabellen sind in folgende Themenbereiche unterteilt:

- Windeinfluss und Luftdichtheit der Gebäudehülle
- Energetische Anforderungen
- Thermische Behaglichkeit, Raumluftfeuchte
- Aussenluftbelastung, Raumluftqualität, Filter
- Nutzende und Anforderungen an ihr Verhalten, sowie Steuerung und Regelung
- Luftführung, Luftmengen, Komponenten (inkl. Schallschutz und Brandschutz)

In den Tabellen wird auch eine Priorisierung der offenen Fragen dargestellt. Für die Priorisierung gibt es drei Kategorien:

- Kategorie 1:
Die Frage muss zu oder vor Beginn der Normarbeit geklärt werden.
Grund: das Thema hat einen grossen Einfluss auf den Charakter der Norm (z. B. Komplexität, Strenge der Anforderungen)
- Kategorie 2:
Die Frage kann zu einem späteren Zeitpunkt der Normenarbeit geklärt werden (z. B. im Rahmen der Sachbearbeitung des Normentwurfs).
- Kategorie 3:
Die Klärung der Frage ist im Rahmen der Forschung interessant, aber nicht unbedingt für die Erstellung der Norm notwendig.

Eine textbasierte Zusammenfassung findet sich in Kapitel 1.3.4.



Tabelle 74: Offene Forschungsfragen: Windeinfluss und Luftdichtheit der Gebäudehülle.

Verwendete Abkürzungen: Prio = Priorität

Themenbereich	Windeinfluss und Luftdichtheit der Gebäudehülle	Prio:
Anforderungen (SIA 382/5, Kap. 2)	• Luftdichtheit der Gebäudehülle: Auswirkung der Undichtigkeiten auf die Lüftungswirkung für die verschiedenen Konzepte von Hybrid-Lüftungen.	2
Auslegungskriterien (SIA 382/5, Kap. 3)	• Wind: Was muss bezüglich der Windklassierung und der Gebäudeexposition bezogen auf hybride Lüftungssysteme geklärt werden? Ist eine differenziertere Betrachtungsweise als derzeit üblich notwendig?	1
Bemessung (SIA 382/5, Kap. 5)	• Windeinfluss: Es fehlen ein einfaches Planungsmittel bzw. Methodik, Daten und ggf. Tool für eine einfachere und detailliertere Erfassung der Windbeeinflussung eines spezifischen Gebäudes.	2
Prüfungen 382/5, Kap. (SIA 6)	• Konzepte für Abnahmeprüfungs-Verfahren von HLS (Windverhältnisse bei Abnahme).	2

Tabelle 75: Offene Forschungsfragen: Energetische Anforderungen.

Verwendete Abkürzungen: Prio = Priorität

Themenbereich	Energetische Anforderungen	Prio:
Anforderungen (SIA 382/5, Kap. 2)	• Effiziente Konzepte und Regelungsstrategien für HLS in Kombination mit Kühlsystemen [57], [108], [115].	3
Bemessung (SIA 382/5, Kap. 5)	• Energienachweis für HLS (SIA 380/1:2016): Wie lassen sich die stark projektspezifischen Konzepte hybrider Lüftungsanlagen auf eine stark vereinfachte Kategorisierung reduzieren, um mit einfachen Mitteln einen plausiblen Korrekturfaktor für die Lüftungseffektivität hybrider Lüftungssysteme f_v zu bestimmen? Wie kann die geforderte fachgerechten Energiebedarfsberechnung vereinfacht und für übliche Fälle standardisiert werden?	1
Betrieb und Instandhaltung (SIA 382/5, Kap. 7)	• Monitoring Energieverbrauch: Wie relevant ist der über die Zeit mögliche «Performance-Gap» mit / ohne Monitoring auf den Gesamtverbrauch? Für welche Konzepte ist dieser besonders gross (d.h. relevant)? Wie [61] zeigt, besteht auch bei ML z.T. eine wesentliche Differenz zwischen berechnetem und gemessenem Energiebedarf.	3



Tabelle 76: Offene Forschungsfragen: Thermische Behaglichkeit, Raumluftheuchte.

Verwendete Abkürzungen: Prio = Priorität

Themenbereich	Thermische Behaglichkeit, Raumluftheuchte	Prio:
Anforderungen (SIA 382/5, Kap. 2)	• Grenzen der passiven Kühlung: Wie gut passen sich Nutzende an die thermischen Verhältnisse an (Änderung clo-Wert), bei NL resp. ML? Hinweis in [63]; [100].	3
	• Sind die heutigen zulässigen maximalen Raumtemperaturen anzupassen (d. h. abzusenken)? (Wird z. B. in [111] gefordert).	1
	• Anforderungen thermische Behaglichkeit Sommer und Winter: welche Anforderungen gelten für HLS (diejenigen für ML oder die für NL)? Anmerkung zum Sommer: hier wird in SIA 180:2014 [3] nicht zwischen ML und NL unterschieden so lange keine aktive (maschinelle) Kühlung eingesetzt wird. Die Anforderungen sind trotzdem zu bedenken.	1
	• Temperatur und Luftfeuchtigkeit: Was muss bei wärmeren Temperaturen, was bei einer erhöhten Luftfeuchtigkeit beachtet werden?	2
Lüftungskonzept (SIA 382/5, Kap. 4)	• Interaktion mit Heizsystem: Welche Heizwärmeabgabe ist in Kombination mit hybriden Lüftungen besonders geeignet?	2
Bemessung (SIA 382/5, Kap. 5)	• Feuchteinträge: Es fehlt in der Schweizer Normung eine auf der Literatur oder Messung basierende Festlegung tatsächlicher Feuchteinträge durch Personen und andere Quellen.	2
	• Design und Positionierung FL: Austrittsgeschwindigkeiten und Ausblasrichtung, zulässige maximale Geschwindigkeiten, Volumenstrombegrenzung?	2



Tabelle 77: Offene Forschungsfragen: Aussenluftbelastung (Ausschlusskriterium für HL); Raumlufthqualität; Filter.

Verwendete Abkürzungen: Prio = Priorität

Thema	Aussenluftbelastung (Ausschlusskriterium für HL); Raumlufthqualität; Filter	Prio:
Anforderungen (SIA 382/5, Kap. 2)	• Anforderungen an Raumlufthqualität: Für normative Beurteilung RLQ: Fokus auf welche Methoden resp. Parametern (Momentanwerte, Mittelwerte (rollend, über welche Perioden?)), Grenzwertüberschreitungen. Gelten die Anforderungen für ML oder NL? Entsprechende Umsetzung, Erfahrungen in der Praxis? Prüfung der bestehenden normativen Ansätze auf Praxistauglichkeit.	1
	• Filter: Sind die Filteranforderungen der rein mechanischen Lüftung (ISO ePMI 50 %) für Lüftungsgeräte, die hybrid mit Fensterlüftung kombiniert werden, sinnvoll? In welchen Bereichen: ja, in welchen: nein? Gäbe es da eine einfach handhabbare Abgrenzung?	2
	• Feuchte als RLQ-Indikator: Unter welchen Bedingungen kann Feuchte als RLQ-Indikator verwendet werden? Wäre relative Feuchte ein gleichwertiger RLQ Indikator wie CO ₂ ? [75].	2
Auslegungskriterien (SIA 382/5, Kap. 3)	• Aussenluftbelastung: Welche Schadstoffe sind die relevantesten? Kann z. B. für eine HL, die nur an vor direkter Schadstoffbelastung geschützten Bereichen natürlich AUL zuführt, eine günstigere Bewertung gemacht werden?	2
	• Belastung der Luft im Nahbereich von ALD durch Fassadenbegrünung (Pollen).	3
Bemessung (SIA 382/5, Kap. 5)	• Filter: Welche Vorteile und Einschränkungen ergeben sich bei den einzelnen Konzepten der hybriden Lüftung durch spezifische Anforderungen an die Filterung, an den Schutz vor Pollen und an den Insektenschutz?	2
Prüfungen (SIA 382/5, Kap. 6)	• Raumlufthqualität (und Feuchteschutz): Wie können die gestellten Anforderungen an die RLQ überprüft werden? Einzelwertbetrachtung versus Performance? Welches sind die wesentlichen Funktionsmessungen, die für die dargestellten System durchzuführen sind? Ist eine messtechnische Erfassung und eine Bewertung z. B. gemäss SNG CEN/TR 16798-2:2019, Anhang D und E [25] praktikabel?	1



Tabelle 78: Offene Forschungsfragen: Nutzende und Anforderungen an ihr Verhalten, sowie Steuerung und Regelung.

Verwendete Abkürzungen: Prio = Priorität

Thema	Nutzende und Anforderungen an ihr Verhalten, sowie Steuerung und Regelung	Prio:
Auslegungskriterien (SIA 382/5, Kap. 3)	• Verhalten der Nutzenden: Modelle für das Verhalten bezüglich Fensteröffnen, die nebst Behaglichkeit, RLQ und Zeitzyklen auch z. B. soziale Faktoren mit einbeziehen.	3
Lüftungskonzept (SIA 382/5, Kap. 4)	• Umgang mit Klimawandel: Effiziente Konzepte und Regelungsstrategien für HLS in Kombination mit Kühlsystemen [57], [108], [115].	3
Bemessung (SIA 382/5, Kap. 5)	• Steuerung und Regelung: Welche Möglichkeiten gibt es? CO₂, Zeitschaltung ... (bestimmende Faktoren Winter: Luftqualität; Sommer: Raumtemperatur). Ist relative Feuchte ein gleichwertiger RLQ Indikator wie CO₂? [75]. RLQ-Parameter für Regelung: Nur aktuelle Werte / Grenzwerte oder auch Berücksichtigung von (rollenden) Mittelwerten / Integralwerten [49], [50]? • Sensoren für CO₂ und Feuchte: Zuverlässigkeit (z. B. Alterungsverhalten), Genauigkeit, Serviceintervalle? Welche Abtastraten sind nötig? Positionierung wo? Pro Raum, oder nur in Abluft? Büro: Sensoren in der Nähe des Arbeitsplatzes? Positionierung Sensoren: wo in der Wohnung, wo im einzelnen Raum? Sensoren wo bei Kaskadenlüftung? Genügt Sensor im Abluftdurchlass? Einfach(er) zu implementierende prädiktive/modell- resp. datenbasierte Regelungen [26].	2-3 2-3



Tabelle 79: Offene Forschungsfragen: Luftführung, Luftmengen, Komponenten (inkl. Schallschutz, Brandschutz).

Verwendete Abkürzungen: Prio = Priorität

Thema	Luftführung, Luftmengen, Komponenten (inkl. Schallschutz und Brandschutz)	Prio:
Lüftungskonzept (SIA 382/5, Kap. 4)	• Lüftungskonzepte HL: Welche Luftmengen können in den einzelnen Konzepten der natürlichen Lüftung «angerechnet» werden? Hierfür sind die Praxistauglichkeit und Eignung der normativen Verfahren zu überprüfen. Welche zwingenden Anforderungen werden an die Luftqualität im Raum gestellt? Wie wird mit den Unsicherheiten durch Benutzer- und Klimaeinflüssen umgegangen.	1
	• Kaskadenlüftung: Welche Situationen sind die kritischsten bzw. häufigsten, in denen Fehlströmungen vorkommen? Lösungsstrategien hierzu fehlen.	2
	• Verbundlüftung: Dimensionierung von passiven Überströmelementen (siehe auch unten, «Bemessung (SIA 382/5, Kap. 5)»).	2
	• Schwerkraftlüftung: Welches sind einfache Kriterien für ihren Einsatzbereich?	2
	• Brandschutz: Welche Lösungen zur Luftführung / Überströmung in Korridorbereichen sind aus Brandschutzsicht möglich / zulässig?	3



Thema	Luftführung, Luftmengen, Komponenten (inkl. Schallschutz und Brandschutz)	Prio:
Bemessung (SIA 382/5, Kap. 5)	• Zuluft-Volumenströme: Zu erwartende Luftraten bei natürlicher Lüftung? Wie bestimmen? Was kann angenommen/festgelegt werden für die Planung? Hierzu sind die Praxistauglichkeit und Eignung der normativen Verfahren zu überprüfen. Einfluss eines offenen Fensters auf Luftraten in den verschiedenen Räumen mit Fensterlüftung? Resultierender Druck, wenn Drücke von natürlichen Kräften und von gleichzeitigem Ventilatorbetrieb in etwa von gleicher Grössenordnung sind ([39] S. 54, [41] S.39)?	1
	• Abluft-Volumenströme: Zu erwartende wirksame Abluftraten bei natürlicher Lüftung? Wie bestimmen? Was kann angenommen / festgelegt werden für Planung? Hierzu sind die Praxistauglichkeit und Eignung der normativen Verfahren zu überprüfen. Berechnung Luftvolumenströme bei diskontinuierlicher Lüftung durch offene Fenster zur Berechnung der notwendigen Feuchteschutzlüftung. Berücksichtigung Feuchtepufferverhalten des Raumes, oder Betrachtung über eine längere Periode mit Annahme, dass sich Adsorptions- und Desorptionsvorgänge ausgleichen? Wie detailliert soll/muss hier geplant werden? Siehe Literatur [142] zu DIN SPEC 4108-8:2020 (sic. Kommentar: Damaliger Arbeitstitel).	1
	• Aussenbauteil-Luftdurchlässe (ALD), Fensterlüfter, Aussenluft- und Fortluft Durchlässe, Überström-Luftdurchlässe: Auslegungsgrundsätze für vereinfachte Jahresbetrachtungen von Luftdurchlässen bei Aussenbauteil Luftdurchlässen (z. B. statistisch relevanter Auslegungsbereich der Druckdifferenzen von...bis nach Jahreszeiten o. Ä.). Einfache Auslegungsgrundsätze für Luftdurchlässe mit sehr geringen Druckdifferenzen.	2
	• Nachtlüftung: Welche zusätzlichen Festlegungen sind für die Nachtlüftung erforderlich (z. B. Analyse typischer Konzepte für Wohn und Bürobau sowie guter Lösungsoptionen dazu).	2-3
Prüfungen (SIA 382/5, Kap. 6)	Konzepte für die Abnahme von HLS (Langzeitbewertung? Angabe für zulässige Abweichungen?)	1



7.2 Zusammenfassung Vorschläge normativer Lösungsansätze

Nachfolgend sind die in Kapitel 6 aufgeführten Vorschläge für normativer Lösungsansätze zusammengefasst, gegliedert nach Themen und Normenabschnitt. Der hier gewählte Normenabschnitt für die Zuordnung des Themenbereichs entspricht nicht immer demjenigen aus Kapitel 6. Es gilt die selbe Erklärung wie in 7.1.

Die Bearbeitungsebene ist dabei die Eingrenzung, bei welchem Thema in der Normung welche Grösse festzulegen ist. Es werden keine Textvorschläge für die zukünftige Normung erstellt. Die nachfolgenden Tabellen sind in die folgenden Themenbereiche gegliedert:

- Luftdichtheit der Gebäudehülle (inkl. Windeinfluss)
- Energetische Anforderungen
- Thermische Behaglichkeit; Raumluftfeuchte
- Aussenluftbelastung, Raumluftqualität, Filter
- Anforderungen an das Verhalten der Nutzenden, sowie Steuerung und Regelung
- Luftführung, Komponenten, Luftmengen (inkl. Schallschutz und Brandschutz)

Für die Priorisierung in den Tabellen gibt es zwei Kategorien:

- **Kategorie 1:**
Der Lösungsansatz kann innerhalb einer zukünftigen Normenkommission für die Norm zur hybriden Lüftung geklärt werden. Es wird bei Verweisen auf andere Normen davon ausgegangen, dass deren Inhalt übernommen werden kann. Sollten doch Änderungen notwendig sein, ist abweichend eine Abstimmung erforderlich.
- **Kategorie 2:**
Der Lösungsansatz weist Abhängigkeiten zu bereits existierenden Normen auf (Abstimmung erforderlich)

Eine textbasierte Zusammenfassung findet sich in Kapitel 1.3.5.

Tabelle 80: Vorschläge normativer Lösungsansätze: Luftdichtheit der Gebäudehülle (inkl. Windeinfluss)

Verwendete Abkürzungen: Prio = Priorität

Themenbereich	Luftdichtheit der Gebäudehülle (inkl. Windeinfluss)	Prio:
Anforderungen (SIA 382/5, Kap. 2)	• Luftdichtheit der Gebäudehülle: Für die Auswirkung von Undichtheiten auf die Wirksamkeit des Lüftungskonzeptes müssten die Bemessungsvorgaben in vergleichbarer Weise beschrieben werden wie dies für Abluftanlagen in SIA 382/5:2021 [1] Kapitel 5.4.2.1 erfolgt.	1
Prüfungen (SIA 382/5, Kap. 6)	• Luftdichtheit: Für die Messung der Gebäudedichtheit ist ev. neben der Messung nach Verfahren 2 aus SN EN ISO 9972 [102] zusätzlich eine Messung nach Verfahren 3 zu fordern, um einen Wert zur Energieeffizienz des Gebäudes zu erhalten.	1



Tabelle 81: Vorschläge normativer Lösungsansätze: Energetische Anforderungen

Verwendete Abkürzungen: Prio = Priorität

Themenbereich	Energetische Anforderungen	Prio:
Anforderungen (SIA 382/5, Kap. 2)	• Anforderungen an Energiebedarf (Lüftungsverluste): Vorschlag für Berechnungsansatz siehe diese Tabelle «Bemessung (SIA 382/5, Kap. 5)»	2
	• Wärmerückgewinnung, Abwärmenutzung: Anforderungen an energetische Wirksamkeit und Möglichkeiten (bei neuen Anlagen und Möglichkeit der Nachrüstung bei bestehenden Anlagen). Ein klares und einfach durchzuführendes Verfahren für die Bestimmung des anzuwendenden Wärmerückgewinnungsgrades der hybriden Lüftungsanlagen ist in den Normen (SIA 380/1:2016 [23] und MuKE:2014 [22]) festzulegen. Dies kann auf den für ML verwendeten WRG Kenndaten beruhen, muss aber (z. B. durch ein vereinfachtes, normativ festgelegtes Kennwertmodell oder aber durch Simulation) für die projektierte HL umgerechnet (korrigiert) werden. Das Thema könnte auch bei der Revision der SIA 382/1:2014 behandelt werden.	2
Bemessung (SIA 382/5, Kap. 5)	• Energiebedarf (Lüftungsverluste): Berechnung gemäss SIA 380/1:2016 Kapitel 3.5.5. (Formel 15) [23] als Basis. Für die praktische Anwendung müsste die zugehörige Tabelle 23 in SIA 380/1:2016 (Kap. 3.5.5.2) ergänzt bzw. ein Berechnungsverfahren definiert werden.	2
	• Wärmerückgewinnung: Für die WRG müsste ein möglichst pragmatisches Vorgehen entwickelt werden, das energetisch sinnvolle Systeme nicht behindert (aber doch ungeeignete verhindert). Ev. ist ein Nachweis über die effektiven Lüftungsverluste (wie für Minergie angewendet) dafür eine Option.	2
	• In den Normen ist ein klares und einfach durchzuführendes Verfahren für die fachgerechten Energiebedarfsrechnung von hybriden Lüftungsanlagen festzulegen.	1
Betrieb und Instandhaltung (SIA 382/5, Kap. 7)	• Monitoring: Bei grossen Gebäuden Monitoring vorschreiben (Limite nach MuKE:2014 [22] ausweiten)? Verknüpfung einer Monitoringanforderung mit den im Energienachweis zulässigen Berechnungskennzahlen der HL (Unterscheidung von «ohne» zu «mit Monitoring»).	1



Tabelle 82: Vorschläge normativer Lösungsansätze: Thermische Behaglichkeit, Raumlufffeuchte

Verwendete Abkürzungen: Prio = Priorität

Themenbereich	Thermische Behaglichkeit, Raumlufffeuchte	Prio:
Anforderungen (SIA 382/5, Kap. 2)	• Zugluft-Risiko: Möglichkeiten für Reduzierung Zugluft-Risiko z. B. Definition Aufenthaltszone gem. SIA 180:2014 [3], Kap. 2.1.2.4 (kritischer für NL): Abstand zur Fassade für verschiedene Fälle konkret festlegen. Klarstellung, welche Komfortkriterien bei NL, ML resp. generell für HL gelten. Ggf. unterschiedliche Anforderungen thermische Behaglichkeit für Betrieb NL resp. Betrieb ML (bei der mittleren lokalen Luftgeschwindigkeit differenziert SIA 180:2014 in Figur 5 zwischen NL und ML)?	1
	• Thermische Behaglichkeit Sommer: Umgang mit Grenzen der natürlichen Lüftung bezüglich passiver Kühlung nachts und tagsüber. Auslegung für NL gemäss SIA 180:2014 [3], Kap. 5.2.3 mit nach Komfortkriterien geregelter Unterstützung durch ML, oder für den geforderten Aussenluftvolumenstrom von $10 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ (Anmerkung: Die Revision von SIA 180: 2014 ist geplant).	2
	• Anpassung (d.h. Absenkung) obere Grenzwerte thermische Behaglichkeit für Nachtperiode (Resultate Projekt Wohnbauten – effiziente Kühlkonzepte [111]).	2
	• Komfortkriterien Temperatur: Klarstellung welche Komfortkriterien bei NL, ML resp. generell für HL gelten. Weiterverfolgen derzeitiger Ansatz SIA 180:2014, dass gleiche Anforderungen bei Betrieb NL resp. Betrieb ML (so lange nicht aktiv maschinell gekühlt wird)?	2
	• Die untere (und die obere) Grenze für die Raumlufffeuchte ist derzeit mit einer gewissen Unsicherheit behaftet. Diese Fragestellung und welche Werte in die zukünftige Normung einfließen sollen wird in [121] angesprochen (aber nicht geklärt).	2



Tabelle 83: Vorschläge normativer Lösungsansätze: Aussenluftbelastung (Ausschlusskriterium für HL), Raumluftqualität, Filter
Verwendete Abkürzungen: Prio = Priorität

Themenbereich	Aussenluftbelastung (Ausschlusskriterium für HL); Raumluftqualität; Filter	Prio:
Anforderungen (SIA 382/5, Kap. 2)	• Anforderungen an Raumluftqualität: Berücksichtigung Revision SIA 382/1:2014 (in prSIA 382/1:2022-06 [101] geforderte IDA Klassen, informativer Anhang Fensterlüftung/Kühlung durch Nachtlüftung). Beurteilung der RLQ bei variablen Luftraten und Behandlung von Grenzwertüberschreitungen: Verschiedene Methoden und Kennwerte sind erläutert in prEN 15665:2022-09-30 [11], z. B. Mittelwert Konzentration über Belegungszeit; Anzahl oder Dauer der Überschreitungen; Maximal erreichte Werte; Dosis oder Überschreitungsdosis (Konzentration über Grenzwert x Zeit).	2
Bemessung (SIA 382/5, Kap. 5)	• Filter: Für die hybride Lüftung ist festzulegen nach welchen Grundsätzen und mit welchen Anforderungen eine Filterung der Aussenluft gefordert wird (auch ob dies für Elemente der mechanischen Lüftung in der gleichen Nutzungseinheit ebenfalls gilt). Ein Ansatz wäre, dass z. B. die Beurteilungsgrenze für die Aussenluftbelastung einer reinen Fensterlüftung als Kriterium für die Anforderung einer Filterung der Aussenluft bei hybriden Systemen angesetzt wird.	1
Betrieb und Instandhaltung (SIA 382/5, Kap. 7)	• Filter / Unterhalt: Wartung / Wechsel Filter bei Aussenbauteil-Luftdurchlässen vorschreiben. Der Filterwechsel ist mit der Anlagenwartung zu verbinden.	1

Tabelle 84: Vorschläge normativer Lösungsansätze: Anforderungen an das Nutzerverhalten, sowie Steuerung und Regelung

Themenbereich	Anforderungen an das Verhalten der Nutzenden, sowie Steuerung und Regelung	Prio:
Anforderungen (SIA 382/5, Kap. 2)	• Umgang mit Klimawandel: Anpassung der zulässigen maximalen Raumtemperaturen? Unterscheidung Tag-Nacht und ev. Alterskategorien Nutzende [111] ?	2
Auslegungskriterien (SIA 382/5, Kap. 3)	• Nutzungsdaten: Einführung einer (Muster-) Gebrauchsanweisung für Wohnungen (z. B. als Bestandteil des Miet- bzw. Kaufvertrages. Es sollten Hinweise zur Notwendigkeit, Wirkungsweise und Instandhaltung aller technischen Anlagen und Geräte enthalten sein [86]. • Anforderungen an das Verhalten der Nutzenden: Nutzungsvereinbarung.	1 1
Bemessung (SIA 382/5, Kap. 5)	• Steuerung und Regelung: Festlegung von empfohlenen (zulässigen?) Regelkonzepten (z. B. für die in Kapitel 5.4 definierten Konzepte) basierend auf EN 16798-1:2019. • Schnittstellen der GA: Technische Anforderungen basierend auf Normenserie SN EN 50491. Insbesondere Hinweise zu Installation und Planung in SN EN 50491-6-1:2014.	1 2



Tabelle 85: Vorschläge normativer Lösungsansätze: Luftführung, Luftmengen, Komponenten (inkl. Schallschutz, Brandschutz)

Verwendete Abkürzungen: Prio = Priorität

Themenbereich	Luftführung, Luftmengen, Komponenten (inkl. Schallschutz; Brandschutz)	Prio:
Anforderungen (SIA 382/5, Kap. 2)	• Schallschutz Nachströmöffnungen gegen aussen: Definition maximale Lärmbelastung und minimales Schalldämm-Mass für den Einsatz von Nachströmöffnungen.	1
	• Schallschutz Überströmöffnungen gegen innen: Definition von minimalem Schalldämm-Mass für Innenwände mit Überström-Elementen resp. Türspalt.	1
Lüftungskonzept (SIA 382/5, Kap. 4)	• Lüftungskonzepte HL: Fallunterscheidung in der Norm mit einfachen Kriterien für die verschiedene Konzeptfälle der hybriden Lüftung (siehe dazu Vorschlag in Abbildung 5).	1
	• Verbundlüftung: Vorgaben für die Dimensionierung passiver Überström-Luftdurchlässen (z. B. in Abhängigkeit der Raumgrösse und Luftqualitätsziel).	1
	• Kochstellenlüftung: u.U. sind Bedingungen festzulegen, die einzuhalten sind, damit eine Umluft-Dunstabzugshaube eingesetzt werden darf. Für den Betrieb von Ablufthauben muss der Differenzdruck der Nachströmöffnung mit der Auslegung der hybriden Lüftung zusammenpassen (genügend tief sein) bzw. es müssen technische Lösungen zur Verhinderung von Rückströmungen getroffen werden.	1
	• Planungsvorgabe: Die Angaben zur Lüftung (z. B. Zuluftelemente wie Fensterlüfter etc.) müssen in die Architektenpläne eingezeichnet werden (Definition, Art und Lage). In der Submission Zuordnung Zuluftelemente an entsprechendes Gewerk, zusätzlich Angaben zum Lieferzeitpunkt, zur Lagerung und zum Einbaupunkt.	1
Bemessung (SIA 382/5, Kap. 5)	• Zu- und Abluft-Volumenströme ML: Im Rahmen der Auslegung muss für den mechanischen Teil der Anlage eine Anforderung definiert werden können, mit der die Auslegung nach den vorhandenen Normen möglich ist (z. B. anrechenbaren Volumenströmen der natürlichen Lüftung).	1
	• Luftvolumenströme NL: Für die natürliche Lüftung müssten die Auslegungsgrundsätze noch festgelegt werden. Als Grundlage sollten die in Tabelle 60 genannten Normen geprüft werden. Dabei sollte nach Art der Zuluftöffnung (Fensterlüfter, ALD, Fenster etc.) differenziert werden (Angaben für die vereinfachte Auslegung von Fensterlüftern finden sich in [141]).	2
	• Nachtlüftung: Berücksichtigung Revision SIA 382/1:2014 (informativer Anhang Fensterlüftung/Kühlung durch Nachtlüftung).	2
	• Komponenten (ALD, FL etc.): Es müssten normative Anforderungen für natürliche Lüftung und gemeinsam genutzte Elemente erarbeitet werden.	1



Themenbereich	Luftführung, Luftmengen, Komponenten (inkl. Schallschutz; Brandschutz)	Prio:
Prüfungen (SIA 382/5, Kap. 6)	• Funktionsmessungen: Für die häufigsten HLS soll ein Vorgehen für die Funktionskontrolle erarbeitet werden. Für den Teil der NL ist keine «Funktionskontrolle» im herkömmlichen Sinne möglich. Die Norm soll daher Vorgaben zur Kontrolle der Komponenten machen.	1

7.3 Aus den Planungsthemen resultierende Planungshinweise

7.3.1 Vorbemerkung

Dieses Kapitel gibt Hinweise zum Einsatz und zur Planung von hybriden Lüftungssystemen und Komponenten in Wohn- und Bürobauten. Die Hinweise resultieren aus der Literaturanalyse des vorliegenden Forschungsprojektes HyLue. Sie sind dazu gedacht eine sachgemässe Planung zu ergänzen und nicht als abschliessender und umfassender Planungsleitfaden zu verstehen. Quellenangaben, die mit «Workshop-Input» gekennzeichnet sind, beziehen sich auf Ergebnisse der Workshops am 05.10.2021 und am 22.09.2022. Die Bezeichnung «Autorinnen und Autoren HyLue» steht für eine Aussage der Berichtsauteoren.

7.3.2 Projektierung – Anforderungen (SIA 382/5, Kap. 2)

- Planungsverantwortliche Person Lüftung
Für die Planung ist es wichtig, eine planungsverantwortliche Person für die Lüftung zu haben, die alle Aspekte der hybriden Lüftung abdeckt. In vielen Fällen wäre dies sinnvollerweise der/die Lüftungsplaner:in mit Zuständigkeit für die mechanische Lüftung. Voraussetzung ist, dass diese Person über die entsprechenden Kompetenzen verfügt und eine Vergütung für den zusätzlichen Aufwand erhält.
Weitere Informationen: Kap. 6.2.2
Quellenangabe: Workshop-Input
- Feedback-Schleife
Insbesondere bei wiederkehrenden Planungen (z. b. gleiches System bei anderem Objekt) sollte eine Feedback-Schleife im Prozess eingeplant werden, um für zukünftige Projekte von Erfahrungen aus der Planung zu profitieren.
Weitere Informationen: Kap. 6.2.1
Quellenangabe: Workshop-Input
- Nachströmöffnungen
In der Nähe von Nachströmöffnungen (ALD und FL) können Zugerscheinungen auftreten. Zugerscheinungen sind ein häufiges Problem. Durch technische Massnahmen (wie z. B. Wärmeabgabe über Heizkörper, Anordnung hinter oder über einem Heizkörper, Verwendung von mehreren Nachströmöffnungen mit einem kleinen Öffnungsquerschnitt) können diese gemindert werden.
Für Hochhäuser haben sich Lösungen mit ALD oft als unzweckmässig erwiesen.
Aussenlärm: In einer Nutzerbefragung zu Fensterlüftern nimmt mehr als die Hälfte der Befragten Geräusche von aussen «manchmal» oder «immer» als Störung wahr. An lärmbelasteten Standorten ist daher der Einsatz von Fensterlüftern kritisch zu hinterfragen.
Weitere Informationen: Kap. 6.2.5, Tabelle 35, Tabelle 42
Quellenangabe: Workshop-Input, [28], [30], [34].



- Thermischer Komfort Winter und Fensterlüftung
Bei NL können in den Schlafzimmern die maximalen CO₂-Konzentrationen nur eingehalten werden, wenn ein Fenster gekippt ist. Bei tiefen Aussentemperaturen sinkt bei geöffneten Fenstern die Raumlufthtemperatur ab, bei geschlossenen Fenstern steigt die CO₂-Konzentration. Zusätzlich wird je nach Wärmeabgabe mehr Heizwärme abgegeben. Insbesondere bei Heizkörpern mit Thermostatventilen wird das Ventil voll öffnen, auch wenn die Einstellung etwas reduziert ist, da sich der Sensor typischerweise im Bereich der abfallenden Aussenluft befindet. Eine rein manuelle Fensterlüftung ist daher für Schlafzimmer ungeeignet.
Weitere Informationen: Kap. 6.2.5, Tabelle 36
Quellenangabe: [33]
- Thermischer Komfort Sommer
NL kann nicht immer eine ausreichende sommerliche Behaglichkeit gewährleisten. Gründe sind zum Beispiel:
 - am Tag ist die Lufttemperatur aussen grösser als die gewünschte Lufttemperatur innen,
 - es wird erwärmte Aussenluft (z. B. sonnenbeschienene Fassade) durch ALD angesaugt,
 - die passive Kühlung durch Nachtlüftung ist zu wenig effektiv. Dies wegen
 - a) zu kleinen Luftraten, b) zu leichter Bauweise, c) zu frühem manuellem Start, z. B. bei Verlassen des Büros, d) Tropennächten (Klima der Zukunft), e) städtischem Wärmeinseleffekt.Tagsüber kann die empfundene Temperatur durch eine erhöhte Luftgeschwindigkeit (z. B. mit Querlüftung) am Tage reduziert werden. Für die Nachtlüftung (speziell in Nichtwohngebäuden) empfiehlt es sich, eine spezifische Fensterlüftung einzusetzen mit möglichst automatisierten Fenstern oder Lüftungsflügeln, die über einen Eindringenschutz gegen Insekten, Tiere und Personen verfügen.
Weitere Informationen: Kap. 6.2.5, Tabelle 37 und Tabelle 38
Quellenangabe: [45], [46], [54, 55], [56], [67], [77]
- Trockene Luft
Im Winter wird sowohl in Wohnungen wie auch in Büros oft eine zu tiefe Raumlufffeuchte reklamiert. Grundsätzlich ergeben höhere Luftmengen im Winter tiefere Raumlufffeuchten. Bestimmte Systeme (z. B. solche mit einer wesentlichen Unterstützung durch den Stackeffekt, wie die Schwerkraftlüftung, oder unregelmässige ALD), weisen bei tiefen Aussentemperaturen einen hohen Aussenluftvolumenstrom auf und verschärfen die Problematik der zu trockenen Luft. Bei einer manuellen Fensterlüftung besteht nicht unbedingt der Zusammenhang, dass sich bei tiefen Aussentemperaturen hohe Luftmengen ergeben (und damit die Raumlufffeuchte tief ist). Es kann sogar beobachtet werden, dass Fenster bei tiefen Aussentemperaturen weniger oft geöffnet werden, da die Nutzenden bei tiefen Temperaturen tendenziell weniger lüften.
Einfache Lüftungsanlagen mit Feuchterückgewinnung können zu einer Abschwächung des Problems beitragen. Allerdings führen auch hier zu hohe Luftraten zu einer trockenen Raumluff. Bei feuchteregulierten Abluftanlagen, die in Abhängigkeit von der Innenraumfeuchte geregelt werden, bleibt die Luftfeuchtigkeit im Rahmen der Empfehlung von SIA 180:2014 [3]. Es treten allerdings Zielkonflikte zwischen Raumluffqualität und der Regelgrösse der Raumlufffeuchte auf. Wenn im Winter vorwiegend eine mechanische Lüftung zum Einsatz kommt, ist eine Feuchterückgewinnung zu empfehlen.
Weitere Informationen: Kap. 6.2.5, Tabelle 40
Quellenangabe: Autorinnen und Autoren HyLue, Aussagen zu feuchteregulierten ALD: [28]
- Schimmel
Beim Fensterersatz von alten undichten Fenstern mit neuen Fenstern, die umlaufende Dichtprofile besitzen, kann es sein, dass der Feuchteschutzluftwechsel nicht mehr passiv durch Gebäudeundichtheiten gewährleistet ist. Es wird davon abgeraten die Dichtgummis nachträglich zu perforieren, bzw. partiell auszuschneiden, da so andere Probleme auftreten können (z. B. Schäden durch Kondensat im Fensterbereich, Probleme mit Schallschutz). Hier muss eine Feuchteschutzlüftung konzipiert werden.
Gerade bei HLS ist die Lösung zur Feuchteschutzlüftung herausfordernder, da erforderliche



Luftmengen ggf. nicht garantiert werden können. Es gilt hier die Region (Tessin höheres Risiko) und Jahreszeit (Sommer höheres Risiko) zu beachten. Abgeraten wird von nur über den Lichtschalter betriebene Abluftventilatoren. Die Laufzeiten sind in der Regel zu kurz und die Durchlüftung ist damit zu gering. Bei Kellerräumen in Bestandsgebäuden empfiehlt sich die Lüftung über einen Taupunktwärmer.

Weitere Informationen: Kap. 6.2.5, Tabelle 41

Quellenangabe: [37], [86], [123]

- Lärmemissionen Lüftungsanlagen innen

Bei intermittierend arbeitenden Lüftungsgeräten kann der Wechsel der Betriebsmodi als störend empfunden werden. Permanent betriebenen Anlagen werden von Nutzern in Bezug auf Lärm etwas besser bewertet. Jedoch ist auch hier auf eine korrekte Planung zu achten, da in einem Demonstrationsprojekt zu laute, permanent laufende Abluftventilatoren von Nutzern eigenständig ausgeschaltet wurden.

Von absichtlicher Einregulierung zu kleiner Luftvolumenströme, um Geräuschprobleme in den nahe beim Ventilator gelegenen Bereichen zu vermeiden, ist abzuraten.

Weitere Informationen: Kap. 6.2.5, Tabelle 44

Quellenangabe: [34], [86]

- Abwärmenutzung

Wenn eine Wärmerückgewinnung nicht möglich ist, sollte die Möglichkeit der Abwärmenutzung bei hybriden Lüftungsanlagen geprüft werden. Die Bewertung des Nutzens einer Abwärmenutzung muss immer in einer Gesamtbetrachtung mit dem Heizsystem erfolgen (z. B. Primärenergie).

Weitere Informationen: Kap. 6.2.6, Tabelle 46

Quellenangabe: Autorinnen und Autoren HyLue

7.3.3 Projektierung – Auslegungskriterien (SIA 382/5, Kap. 3)

- Klimawandel

Der Einfluss des Klimawandels führt zu erhöhten Tages- und Nachttemperaturen, längeren Hitzeperioden und einer zunehmenden Anzahl von Tropennächten und Hitzetagen. Schon jetzt kann es wegen des Urban Heat Island Effektes in Städten in der Nacht 2 – 5 °C wärmer sein als in ländlichen Gegenden.

Beides hat einen Einfluss auf die Wirksamkeit der NL für passive Kühlung.

Zur Beurteilung der Wirksamkeit von Massnahmen und zur Planung ist die Verwendung zukünftiger Klimadaten (MeteoSchweiz) empfohlen.

Zusätzlich zur Verwendung zukünftiger Klimadaten, kann auf Basis der Kenntnisse im Projekt HyLue keine abschliessende Planungsempfehlung gegeben werden.

Weitere Informationen: Kap. 6.3.2, Tabelle 49

Quellenangabe: [110], [133], [132]

- Verhalten der Nutzenden

Bei Systemen, bei denen ein aktiver Nutzereingriff für das Funktionieren erforderlich ist (manuelle Nachtlüftung), bzw. unterbleiben soll (permanentes Verschliessen von ALD), oder eine bestimmte Verhaltensweise gewünscht ist (Fensterlüftung), ist die Verwendung von Nutzungshinweisen und / oder einer Nutzervereinbarung zu empfehlen.

Weitere Informationen: Kap. 6.3.4, Tabelle 52, Tabelle 53

Quellenangabe: Autorinnen und Autoren HyLue

7.3.4 Projektierung – Lüftungskonzept (SIA 382/5, Kap. 4)

- Kontinuität der Informationen

Im Planungsprozess und bei der Umsetzung können viele Fehler passieren. Eine wichtige Fehlerquelle ist, dass bestimmte Lüftungskomponenten fehlen oder die falschen eingebaut



werden. Daher sollten die Angaben zur Lüftung und Komponenten (z. B. Zuluftelemente wie Fensterlüfter etc.) in die Architektenpläne eingezeichnet werden, damit Art und Lage definiert sind. In der Submission müssen die Elemente dem entsprechenden Gewerk zugeteilt werden. Falls erforderlich sollten Angaben zum Lieferzeitpunkt, Lagerung und Einbaupunkt gemacht werden.

Weitere Informationen: Kap. 6.4.1

Quellenangabe: Workshop-Input

- Kaskadenlüftung

Grundsätzlich können die Prinzipien aus SIA 382/5:2021 [1] angewendet werden. Durch die bei natürlicher Lüftung z. B. durch Windkräfte entstehenden Druckdifferenzen können aber u.U. unerwünschte (Rück-)Strömungen entstehen, die zu verhindern sind.

Weitere Informationen: Kap. 0, Tabelle 55

Quellenangabe: Autorinnen und Autoren HyLue

- Verbundlüftung

Bei der Verbundlüftung muss unterschieden werden, ob der Luftaustausch in die Zimmer über aktive Verbundlüfter oder nur über passive Überströmelemente erfolgt. Werden aktive Verbundlüfter eingesetzt, so können die Auslegungskriterien aus SIA 382/5:2021 [1] angewendet werden. Bei Verbundlüftungen, die nur passive Überströmer aufweisen, muss der Luftaustausch allein durch natürliche Strömungen stattfinden. Insbesondere bei geschlossenen Zimmertüren funktioniert dies nicht. Überströmelemente müssen geeignet dimensioniert sein (Problem: Platzbedarf, störender Lichteinfall, Schallschutz). Bei passiven Überströmelementen ist ein ausreichend grosser freier Querschnitt mit sehr geringem Druckverlust über das Element (im Bereich von 0.1 Pa), sowie eine Anordnung in Boden und Deckennähe (je ca. 50% der freien Fläche) erforderlich.

In der Praxis (Workshop-Input) werden mit Verbundlüftungssystemen mit aktiven Überströmern in Wohnungen sehr gute Erfahrungen gemacht. Beim verwendeten System wird die Zuluft in einem zentralen Wohnbereich in Bodennähe eingeblasen. Die Abluft wird in den Nasszellen abgesaugt. Die Nachströmung in die Nassräume erfolgt über Türschlitze oben. Die Zimmer werden über leicht geöffnete Türen oder Verbundlüfter belüftet. Die Auslegung der mechanischen Lüftung erfolgt hinsichtlich der durchschnittlichen Belegung (15 bis 20 m³/Person). Ein allfälliger zusätzlicher Frischluftbedarf wird über die Fensterlüftung abgedeckt.

Weitere Informationen: Kap. 0, Tabelle 56

Quellenangabe: [35] (passive Überströmer), Workshop-Input (Praxiserfahrung)

- Kochstellenlüftung

Beim Einsatz von Ablufthauben muss sichergestellt werden können, dass keine hohen Unterdrücke und als Folge unerwünschte Nachströmungen über hygienisch heikle Pfade, wie z. B. Installationsschächte entstehen. Dies ist jedoch auch (in abgeschwächtem Mass) für mechanische Abluftanlagen der Fall. Bei Ablufthauben muss die Nachströmung der Abluft gewährleistet sein. Ist diese nicht definiert, kann ein erheblicher Unterdruck (bis zu 120 Pa) entstehen und / oder Luft aus undefinierten Quellen nachströmen.

Weitere Informationen: Kap. 0, Tabelle 57

Quellenangabe: Autorinnen und Autoren HyLue, [31], [34], [137]

- Schwerkraftlüftung

Ein Demonstrationsprojekt zeigt, dass im Winter die Schwerkraftlüftung in Badezimmern gut funktioniert und sich die rel. Luftfeuchtigkeit dort im Mittel zwischen ca. 45 - 65 % bewegt. Durch den Klimawandel bedingt, könnten zu hohe Temperaturen das Konzept der Schwerkraftlüftung in Frage stellen. Eine Möglichkeit ist, die Schwerkraftlüftung zusammen mit einem feuchtegeregeltem Ventilator im Bad einzusetzen.

Weitere Informationen: Kap. 0, Tabelle 58

Quellenangabe: Autorinnen und Autoren HyLue, [64], [65]



- Druckverhältnisse

Bei Hybridlüftungskonzepten können erhöhte Druckdifferenzen durch Wind (ev. auch durch thermischen Antrieb bei hohen Gebäuden) auftreten. Im Konzept muss diese Frage behandelt werden (v.a. für windexponierte Lagen und hohe Gebäude) und es müssen dazu Lösungen aufgezeigt werden. Ohne Begrenzungselemente kann bei Komponenten, wie z. B. Aussenbauteil-Luftdurchlässen, bei hohen Gebäuden ein unerwünscht hoher Luftvolumenstrom auftreten.

Bestehen im Lüftungssystem intern Verbindungen über mehrere Stockwerke, muss für die Dimensionierung der Lüftungsöffnungen für die NL ggf. auch die Lage der Neutralebene berücksichtigt werden. Eventuell strömt in oberen Teil des Gebäudes Innenluft nach aussen, nicht Aussenluft nach innen, was die Wirksamkeit der Lüftung reduziert. Als Faustregel gilt die Neutralebene möglichst hoch im Gebäude zu halten, z. B. mittels grosser Öffnungen im obersten oder über dem obersten Stockwerk.

Anmerkung zur ML und Verbindungen über mehrere Stockwerke: bei Abluftanlagen darf der zusammenhängende Luftraum nicht mehr als zwei Geschosse umfassen, da sonst die Anforderungen gem. SIA 382/5:2021 nicht eingehalten werden können.

Weitere Informationen: Kap. 0, Tabelle 59

Quellenangabe: Autorinnen und Autoren HyLue

7.3.5 Berechnung, Bemessung und technische Anforderungen (SIA 382/5, Kap. 5)

- Zuluft-Volumenströme

Im Rahmen der Erstellung des Lüftungskonzeptes müssen die wesentlichen Betriebsfälle bezüglich dem Luftaustausch innerhalb der Wohnung geklärt werden. Es können auch einzelnen Komponenten bestimmte Lüftungsaufgaben zugewiesen werden (z. B. Fensterlüfter = Feuchteschutzluftwechsel).

Kommentare zu Komponenten:

- Ohne vorgängige Prüfung sind bei natürlicher Lüftung die resultierenden Lufraten durch Fensterlüftung für einen geplanten Betriebsfall wie z. B. «Sicherstellen des hygienisch notwendigen Luftwechsels» oft zu niedrig, da die vorherrschenden Differenzdrücke häufig zu klein sind. Auch können Markisen, Vorhänge etc. u.U. den Luftaustausch behindern.

- Bei Konzepten mit Fensterlüftern muss jeder Aufenthaltsraum (mit Ausnahme von Durchströmbereichen) eine Aussenluftzufuhr enthalten, die Projekterfahrung zeigt, dass dies nicht immer der Fall ist. Auch ist der durch die Fensterlüfter erreichbare Luftwechsel von der Höhe des Einbauortes (Stockwerk) und der umgebenden Bebauung abhängig («Exposition»), was eine fachgerechte Planung notwendig macht.

Weitere Informationen: Kap. 6.5.2, Tabelle 60

Quellenangabe: Autorinnen und Autoren HyLue, [27], [34], [139]

- Abluft-Volumenströme

In einigen Projekten sind die Betriebsfälle (Feuchteschutz, hygienische Lüftung) nicht klar definiert, auf welche die Abluft-Volumenströme ausgelegt sein sollen.

Projekterfahrung: In fünf von acht Wohnungen wurde bei einfachen Abluftanlagen ein mehr als 10 % zu tiefer Abluftvolumenstrom und in zwei von acht Wohnungen ein mehr als 10 % zu hoher Abluftvolumenstrom gemessen

Weitere Informationen: Kap. 6.5.2, Tabelle 61

Quellenangabe: [34]

- Anforderungen an Aussenbauteil-Luftdurchlässe (ALD), Fensterlüfter, Aussenluft- und Fortluft-Durchlässe sowie Überström-Luftdurchlässe

Bei Projekten mit Fensterlüftern wird deutlich, dass im Auslegungsfall in keiner der untersuchten Wohnungen (8 Stück) der nach Norm geforderte hygienische Volumenstrom erreicht werden kann. Es ist daher davon auszugehen, dass schon bei der Auslegung mit tieferen Volumenströmen oder höheren Unterdrücken gerechnet wurde.

Sollen ALD im Zusammenhang mit einfachen Abluftanlagen den hygienisch erforderlichen



Aussenluftvolumenstrom bereitstellen, dann müssen (oftmals) pro Raum zwei ALD installiert werden.

Bei nichtverstellbaren Fensterlüftern (d. h. Luftzufuhr immer offen) werden die Fensterlüfter teilweise von den Bewohnern abgeklebt. Verstellbare Fensterlüfter wurden nicht abgeklebt. Für die Küchenabluft ist eine Nachströmöffnung Küchenabluft vorzusehen, die mit dem Küchenabluftventilator gekoppelt ist. Nachströmöffnungen können z. B. eine automatisierte NL oder ALD sein. Speziell bei ALD und Fensterlüftern ist der über die Komponenten erreichbare Volumenstrom zu beachten.

Weitere Informationen: Kap. 6.5.3, Tabelle 62

Quellenangabe: [28], [31], [34]

- Überströmöffnungen gegen innen

Als häufiger Ausführungsfehler können zu geringe freie Überströmquerschnitte zwischen Zu- und Ablufträumen identifiziert werden. Speziell bei Badtüren werden die höheren Anforderungen nicht erfüllt. Das Fehlen von Überströmöffnungen gegen innen kann zum Aussetzen der Funktion von Lüftungstechnischen Massnahmen führen.

Hinweise zur Ausführung und Planung:

- Überströmöffnungen reduzieren die Schalldämmung zwischen den Räumen.
- der Druckabfall sollte nicht höher als 3 Pa (ZUL-/ABL- Anlagen), resp. 1 Pa (ABL-Anlagen) sein.
- Durch eine sinnvolle Positionierung sollen Zugerscheinungen im Aufenthaltsbereich vermieden werden.
- Die Überströmöffnungen sollen einfach zu reinigen sein.
- Überströmungen mit hohem Schalldämm-Mass: Falls der Türspalt höher als 7 mm sein muss, soll eine Überströmöffnung gewählt werden. Durch ein hohes Schalldämm-Mass kann sich jedoch auch der Druckabfall erhöhen.
- Passive Überström-Luftdurchlässe (ohne Druckdifferenz durch ML) für den Wohnbereich müssen grosse freie Querschnitte (0.1 m² oder mehr), eine Anordnung in Boden und Deckennähe und sehr geringe Druckverluste (um 0.1 Pa) aufweisen.
- Dimensionierung Überströmöffnungen im Zusammenhang mit Fensterlüftern: Offen stehende Zimmertüren erleichtern die Luftverteilung in der Wohnung. Ist der Überström-Luftdurchlass (Türspalt) richtig dimensioniert, so müssen die Zimmertüren nicht immer offen stehen.
- Sind Türen mit schalldämmenden Überströmelementen Bestandteil eines Lüftungskonzeptes zur nächtlichen Entwärmung (passive Kühlung), so ist die Querlüftung mit geschlossenen Türen wenig effizient. Besser ist es, die Türe nachts offen stehen lassen.

Weitere Informationen: Kap. 6.5.3, Tabelle 62, Tabelle 63

Quellenangabe: [34], [35], [71], [86], [119]

- Komponenten für die Nachtlüftung

Die geforderten Luftmengen für einerseits die Raumluftqualität und andererseits die passive Kühlung durch Nachtlüftung sind sehr unterschiedlich. Damit entspricht die Dimensionierung der Aussenbauteil-Luftdurchlässe (inkl. automat. Fenster etc.) häufig nicht den Anforderungen an die Nachtlüftung. Es kann daher sinnvoll sein für die Nachtlüftung spezielle Öffnungen vorzusehen. Durch die Nachtlüftung können sich Probleme beim Wetterschutz (v.a. wenn manuell bedient) und Einbruchschutz ergeben, die im Rahmen der Planung zu lösen sind.

Weitere Informationen: Kap. 6.5.3, Tabelle 64

Quellenangabe: Autorinnen und Autoren HyLue, [46]

- Filter in Aussenbauteil-Luftdurchlässen

Die Verwendung von Filtern ist sinnvoll. Es gibt dabei aber einige Punkte zu beachten:

- Für eine rein natürliche Lüftung ist der Druckabfall von Filtern in Aussenbauteil-Luftdurchlässen zu hoch. Werden Filter eingesetzt ist damit immer eine mechanische Unterstützung notwendig.
- Filter mindern die Zuluftvolumenströme. Exemplarische Messungen zeigen, dass durch M5-Filter (gem. ISO 16890: ISO ePM10 50/55/60 %) der Luftstrom zwischen 14 – 27 % reduziert wird (im Vergleich zu ALD ohne Filter).
- Filter müssen systematisch und regelmässig ausgetauscht werden, um eine Verschmutzung zu



vermeiden. Messungen zeigen, dass 9 – 35 % höhere Druckverluste bei verschmutzten G3-Filter (gem. ISO 16890: ISO Coarse 45/50/55 %) auftraten und um bis zu 60 % (im Mittel 17 %, n = 42 ALD) reduzierte Zuluftvolumenströme auftraten (im Vergleich zu neuen Filtern).

- Bei feuchtegeregelten Abluftdurchlässen ist zu berücksichtigen, dass Verschmutzung die Funktion beeinflusst.

Weitere Informationen: Kap. 6.5.3, Tabelle 65

Quellenangabe: Autorinnen und Autoren HyLue, [28], [29], [75]

- Steuerung und Regelung

Bei Konzepten mit automatischen Lüftungsöffnungen ist die Schnittstelle zwischen den verschiedenen involvierten Gewerken (Architektur, Fassade, Elektro / MSRL und HLK) für die Funktion der Regelung kritisch. Daher sind klar definierte Schnittstellen und (integrale) Testabläufe zentral.

Die Schnittstelle und Abhängigkeit zwischen Sonnenschutz und Lüftungsfunktionen muss im Regelkonzept klar festgelegt werden. Es sind entsprechende Prioritäten und Reaktionen (z. B. Sperrung bzw. Funktionsumschaltung) festzulegen.

Eine wirkungsvolle Regelung / Steuerung eines HLS kann relativ komplex sein. Es bedarf guter Fachkenntnisse bei Installation, Abnahme, und auch später für die Sicherstellung eines korrekten Betriebes und der Betriebsoptimierung, ggf. über einen längeren Zeitraum (z. B. für Nachtlüftung).

Es ist ein gewerkeübergreifender Regelbeschrieb erforderlich, der alle in die Regelung integrierten Elemente behandelt. Für die Planung der Inbetriebnahme muss darin für die wesentlichen Funktionen ein Vorgehen für die Tests bei der Inbetriebnahme beschrieben werden.

Regelungssysteme, die durch Nutzende beeinflusst / übersteuert werden können, finden meist eine grössere Nutzer-Akzeptanz.

Weitere Informationen: Kap. 6.5.3, Tabelle 66

Quellenangabe: Workshop-Input, [39], [43], [46]

- Strafe in Energienachweisen für HLS

Es ist derzeit möglich, dass HLS in den Energienachweisen nicht gut abgebildet werden können und damit Nachteile bei der energetischen Bewertung entstehen. Es empfiehlt sich die Thematik möglichst früh zu überprüfen und mit der zuständigen Fachstelle bei der Behörde Kontakt aufzunehmen, um ggf. eine projektbezogene Lösung zu erarbeiten.

Weitere Informationen: Kap.6.5.5, Tabelle 68

Quellenangabe: Workshop-Input, [22]

7.3.6 Prüfungen (SIA 382/5, Kap. 6)

- Funktionsmessungen, Monitoring

Funktionsmessungen sind sinnvollerweise am Gesamtsystem mit allen beteiligten Gewerken (vergleichbar mit integralen Tests) durchzuführen. Dieses Vorgehen setzt eine entsprechende Planung und eine dafür verantwortliche Fachperson voraus (Projektplanung).

Ein Gebäudemonitoring ist sinnvoll und kann oftmals einen Betrieb mit erheblichen, energierelevanten Mängeln vermeiden helfen. Umfangreiche Monitorings bei Gebäuden mit komplexem Zusammenspiel aus Anlagentechnik und natürlicher Lüftung (z. B. im Rahmen von Forschungsprojekten) zeigen oftmals Fehler in Ausführung und Betrieb der Anlagen auf.

Wenn ein Monitoring (Messdatenerfassung und Betriebsoptimierung) geplant ist, dann sollten alle relevanten Planenden (z. B. Haustechnikplaner:in) von Beginn an eingebunden werden. Die Messtechnik sollte schon in der Projektierung und Ausschreibung berücksichtigt werden (auch der Einbauplatz dafür!), ebenso die spätere Messdatenauswertung. Es sollte definiert werden, welche Messdaten mit welcher Genauigkeit und Abtastrate erforderlich sind. Die Messdaten sollten modular aufgebaut sein. Bei Geräten mit Akku muss beachtet werden, dass dieser öfters ausgetauscht werden muss.



Weitere Informationen: Kap.6.6.2, Tabelle 69, Tabelle 73

Quellenangabe: Autorinnen und Autoren HyLue, [61], [69], [71], [74]

- Dokumentation und Information der Nutzenden

HLS sind ggf. mit einer fortschrittlichen, aber auch anspruchsvollen Regelung ausgestattet. Um den Nutzenden eine richtige Bedienung zu ermöglichen, muss aus der Planung / Ausführung eine geeignete Dokumentation hervorgehen, aus der eine gut verständliche (und so möglichst wirksame) Information für die Nutzenden erstellt werden kann.

Weitere Gründe, die für eine Information der Nutzenden sprechen:

- Positiver Einfluss auf das Fensteröffnungsverhalten der Bewohner:innen bei hybrider Abluftanlage mit Fensterlüftern.
- Positiver Einfluss auf das Fensteröffnungsverhalten der Bewohner:innen und damit auf den Energieverbrauch des Gebäudes. Es kann eine schwache Tendenz nachgewiesen werden, dass Nutzende in Gebäuden mit Fensterlüftern und einer Nutzerinformation eine Dauerlüftung im Winter vermeiden.

Weitere Informationen: Kap. 6.6.3, Tabelle 70

Quellenangabe: Autorinnen und Autoren HyLue, [34], [39], [63], [73]

7.3.7 Betrieb und Instandhaltung (SIA 382/5, Kap. 7)

- Bedienung und Wartung der Anlage

Untersuchungen zeigen, dass Filter häufig nicht regelmässig gewechselt werden.

In der Anlagendokumentation zuhanden der Bauherrschaft / der Betreiber:in ist eine spezifisch auf die HL zugeschnittene Instruktion zum Betrieb und zur Instandhaltung der Anlage erforderlich. Dabei ist das empfohlene Wartungsintervall der vorhandenen Filter klar auszuweisen (mit Angaben zu Typ und Klasse). Auch Elemente wie Aussenluftgitter, Insektenschutzgitter und Luftdurchlässe verschmutzen und müssen von einer Fachperson inspiziert und gereinigt werden. Die Angaben dazu müssen an die individuellen Verhältnisse der Anlage (Konzept, Druckdifferenzen, Standort) angepasst sein. Dieses Dokument ist gewerkübergreifend zu erstellen (z. B. mit Lead bei der «Hauptplaner:in Lüftungskonzept»). Allgemein erhöht die verteilte Anordnung und Vielzahl einzelner Komponenten eines HLS (z. B. automatische Fenster oder geregelte Luftdurchlässe) das Risiko von Defekten oder Fehlfunktionen und erschwert deren Detektion. Eine Reduktion der Komponenten auf das Wesentliche aber auch eine gute Dokumentation verringern Fehlfunktionen.

Weitere Informationen: Kap. 6.7.1, Tabelle 71, Tabelle 72

Quellenangabe: Autorinnen und Autoren HyLue, [34], [39]; [76]



8 Ausblick

In der Praxis sind hybride Lüftungen verbreitet. Bis jetzt fehlen in der Schweiz allerdings normativ fassbare Grundlagen für natürliche und hybride Lüftungen. Daher wurde schon während des Projektverlaufs im Jahr 2022 seitens des SIA eine Spurgruppe zur SIA 382/3 ins Leben gerufen, an der zwei der Projektverfasserinnen als Sachbearbeitung mitwirkten. Ab 2023 ist eine Arbeitsgruppe SIA 382/3 (unter der Kommission SIA 382, Raumluftechnik) aktiv, die als Ziel die Erarbeitung der Norm «Natürliche und hybride Lüftung in Gebäuden – Grundlagen und Anforderungen» hat. Eine solche künftige SIA Norm weist innerhalb der Schweizer Normenlandschaft grosse Schnittmengen zu den folgenden Normen auf: SIA 382/1:2014 (in Revision), SIA 382/5:2021 und SIA 180:2014 (Revision geplant). Um Widersprüche zu vermeiden, wird vorgeschlagen, dass in einer künftigen Arbeitsgruppe auch Vertreterinnen und Vertreter aus den Kommissionen der genannten Normen Einsitz nehmen, oder sich in einem noch zu definierenden Format regelmässig abzustimmen. Auch wird eine Koordination mit der europäischen Normung im Bereich Wohnungslüftung angestrebt. Die Task Group der CEN TC 156 / WG 2 zur Revision der EN 15665 resp. des TR 14788 ist hier aktiv.

Die methodische Erfassung von Problemstellungen und Fehlerquellen zeigt, dass die unterschiedlichen Anforderungen an NL und ML und damit zusammenhängend die Auslegung und Bewertung der Lüftung eine häufige Problemursache sind. Für die Normarbeit resultieren zwei wesentliche Fragen: Wie können HLS und hier speziell der Anteil NL, zukünftig dimensioniert werden? Und wie können diese Systeme zukünftig bewertet werden? Bei beiden Themen kann zwischen vorschriftsbezogenen gegenüber leistungsbezogenen Ansätzen (prescriptive versus performance based), bzw. zwischen Einzel- und Systemanforderung unterschieden werden.

Für die Dimensionierung der NL gibt es Vorschläge aus vorhandenen Normen. Hier ist abzuwägen zwischen dem Wunsch nach simplen Vorgaben oder einem einfachen Berechnungsansatz, die eine breite Anwendung ermöglichen, und möglichst genauen Prognosen zur erwarteten Leistung für eine Experten Anwendung. Es ist zu erwarten, dass die möglichen Berechnungsansätze gemäss SN EN 16798-7:2017 eher eine komplexe Berechnung erfordern. Eine Fallstudie [83] zum Berechnungsansatz gemäss SN EN 16798-7:2017 in Kopplung mit einem thermischen Modell (gem. EN ISO 52016-1) zeigt, dass die Berechnungen von natürlichen Luftströmungen mit Tabellenkalkulationsprogrammen (hier Excel) plausible Resultate bringen. Für Fragen wie z. B. zu Steuerung / Regelung ist aber ein iterativer Berechnungsvorgang zwischen Lüftungs- und thermischem Modell erforderlich. Analysen wie etwa zum Nachtlüftungspotential erfordern zudem ein thermisches Modell, das die Dynamik der Gebäudemasse und ev. auch die Strahlungsverteilung detaillierter erfasst. Sollen zukünftig Angaben zur Berechnungssystematik gemacht werden, muss zwischen diesen beiden berechtigten Ansätzen «breite Anwendung» versus «Expertenanwendung» abgewogen werden, oder es müssen beide Optionen für den jeweiligen Planungszweck dargelegt werden.

Als Basis für die Bewertung von HLS, beispielweise im Rahmen der Abnahme, können Momentan- und Langzeitwerte dienen. Auf den ersten Blick scheint eine Langzeitauswertung allerdings sinnvoller. Dies liegt daran, dass HLS durch den Anteil an NL variierende Randbedingungen haben und so eine Auswertung von Momentanwerten nur begrenzt aussagekräftig ist. Eine Langzeitauswertung könnte z. B. bei der Raumlufqualität die Anzahl der Überschreitungen in einem vorgegebenen Zeitraum beinhalten etc. Nachteilig an einer Langzeitbewertung ist der damit verbundene Aufwand zur Bereitstellung der Daten.

Da es speziell bei einfachen HLS zu erwarten ist, dass die Komponenten für die NL von den Nutzenden manuell bedient werden, spielt das Nutzerverhalten eine massgebliche Rolle. Hier scheint den Autorinnen und Autoren eine Nutzervereinbarung ein sehr sinnvolles Werkzeug zu sein. In einer SIA Norm kann auf die Bedeutung einer Nutzungsvereinbarung hingewiesen werden und es können Punkte genannt werden, die in einer Nutzervereinbarung projektspezifisch zu klären sind.



Das Projekt zeigt, dass mit hybriden Lüftungen bei Wohn- und Bürobauten spezifische Lüftungsaufgaben abgedeckt werden. Die Frage im Projekttitel «Ein guter Kompromiss?» kann damit beantwortet werden, dass diese Lüftungen dem Wunsch nach einem sparsamen Technikeinsatz entgegenkommen. Um z. B. Einschränkungen der thermischen Behaglichkeit zu vermeiden und eine korrekte Auslegung zu ermöglichen, bedarf es der sorgfältigen Planung und Ausführung. Die dargestellten Überlegungen mit den vielen zu klärenden und zu berücksichtigenden Themen unterstreichen den Bedarf für eine SIA Norm zur Unterstützung einer qualifizierten Auslegung und Ausführung von hybriden Lüftungssystemen. Nachfolgend können dann auf dieser SIA Norm basierende Umsetzungs- und Planungshilfen erstellt werden.



9 Anhang 1: Literaturverzeichnis

1. SIA 382/5:2021. Mechanische Lüftung in Wohngebäuden (2021). Schweiz: Schweizerischer Ingenieur und Architektenverein.
2. SIA 382/1:2014. Lüftungs- und Klimaanlageanlagen - Allgemeine Grundlagen und Anforderungen (2014). Schweiz: Schweizerischer Ingenieur und Architektenverein.
3. SIA 180:2014. Wärmeschutz, Feuchteschutz und Raumklima in Gebäuden (2014). Schweiz: Schweizerischer Ingenieur und Architektenverein.
4. SN EN 13465:2004-08. Lüftung von Gebäuden - Berechnungsverfahren zur Bestimmung von Luftvolumenströmen in Wohnungen (2004). Schweiz: Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein.
5. SN EN 14134:2019. Lüftung von Gebäuden - Leistungsprüfung und Funktionsprüfungen von Lüftungsanlagen in Wohnungen (2019). Schweiz: Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein.
6. SN EN 15242:2007. Lüftung von Gebäuden - Berechnungsverfahren zur Bestimmung der Luftvolumenströme in Gebäuden einschliesslich Infiltration (2007). Schweiz: Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein.
7. SN EN 15251:2007. Eingangsparmeter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden - Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik (2007). Schweiz: Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein.
8. SN EN 15665:2009. Lüftung von Gebäuden - Bestimmung von Leistungskriterien für Lüftungssysteme in Wohngebäuden (2009). Schweiz: Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein.
9. SN EN 16798-17:2017. Energetische Bewertung von Gebäuden - Lüftung von Gebäuden - Lüftung von Gebäuden - Teil 17: Leitlinien für die Inspektion von Lüftungs- und Klimaanlageanlagen (Module M4-11, M5-11, M6-11, M7-11) (2017). Schweiz: Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein.
10. SN EN 12792:2003. Lüftung von Gebäuden - Symbole, Terminologie und graphische Symbole (2003). Schweiz: Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein.
11. prEN 15665:2022-09-30. Ventilation for buildings —Ventilation systems in residential buildings —Design (preliminary version) (2022). Frankreich: Comité Européen de Normalisation.
12. SN EN 16798-7:2017. Energetische Bewertung von Gebäuden - Lüftung von Gebäuden - Teil 7: Berechnungsmethoden zur Bestimmung der Luftvolumenströme in Gebäuden einschließlich Infiltration (Modul M5-5) (2017). Schweiz: Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein.
13. SNG CEN/TR 16798-8:2017. Energy performance of buildings - Part 8: Ventilation for buildings - Modules M5-1, M5-5, M5-6, M5-8 - Calculation methods for the determination of air flow rates in buildings including infiltration - Technical report - Interpretation of the requirements (2017). Schweiz: Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein.
14. SN EN 16798-1:2019. Energetische Bewertung von Gebäuden - Lüftung von Gebäuden - Teil 1: Eingangsparmeter für das Innenraumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden bezüglich Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik - Module M1-6 (2019). Schweiz: Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein.
15. SN EN 16798-3:2017. Energetische Bewertung von Gebäuden - Lüftung von Gebäuden - Teil 3: Lüftung von Nichtwohngebäuden -Leistungsanforderungen an Lüftungs- und Klimaanlageanlagen



- und Raumkühlsysteme (Module M5-1, M5-4) (2017). Schweiz: Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein.
16. SN EN 16798-5-1:2017. Energieeffizienz von Gebäuden - Lüftung von Gebäuden - Teil 5-1: Berechnungsmethoden für den Energiebedarf von Lüftungs- und Klimaanlage (Module M5-6, M5-8, M6-5, M6-8, M7-5, M7-8) - Methode 1: Verteilung und Erzeugung (2017). Schweiz: Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein.
 17. SN EN 16798-5-2:2017. Energieeffizienz von Gebäuden - Modul M5-6.2, M5-8.2 - Lüftung von Gebäuden - Berechnungsverfahren für den Energiebedarf von Lüftungssystemen - Teil 5-2: Verteilung und Erzeugung (Revision von EN 15241) - Methode 2 (2017). Schweiz: Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein.
 18. DIN 1946-6:2019. Raumluftechnik Teil 6: Lüftung von Wohnungen - Allgemeine Anforderungen, Anforderungen an die Auslegung Ausführung, Inbetriebnahme und Übergabe sowie Instandhaltung (2019). Deutschland: Deutsches Institut für Normung.
 19. DIN 18017-3:2020. Lüftung von Bädern und Toilettenräumen ohne Aussenfenster - Teil 3: Lüftung mit Ventilatoren (2020). Deutschland: Deutsches Institut für Normung.
 20. DIN/TS 4108-8:2022-09. Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 8: Vermeidung von Schimmelwachstum in Wohngebäuden (2022). Deutschland: Deutsches Institut für Normung.
 21. SIA 181:2020. Schallschutz im Hochbau (2020). Schweiz: Schweizerischer Ingenieur und Architektenverein.
 22. MuKE:2014. Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich (MuKE) Ausgabe 2014 (2014). Schweiz: Konferenz Kantonaler Energiedirektoren und Konferenz Kantonaler Energiefachstellen.
 23. SIA 380/1:2016. Heizwärmebedarf (2016). Schweiz: Schweizerischer Ingenieur und Architektenverein.
 24. Schulze, T., & Eicker, U. (2013). Methodik zur vereinfachten Berechnung kontrollierter natürlicher Lüftung. *Bauphysik*, 35(2), 99–106. <https://doi.org/10.1002/bapi.201310059>
 25. SNG CEN/TR 16798-2:2019. Energy performance of buildings - Ventilation for buildings - Part 2: Interpretation of the requirements in EN 16798-1 - Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality [...] (2019). Schweiz: Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein.
 26. Gomis, L. L., Fiorentini, M., & Daly, D. (2021). Potential and practical management of hybrid ventilation in buildings. *Energy & Buildings*, 2021(110597), 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110597>
 27. Hoffmann, C., Geissler, A., & Huber, H. (2015). *Fensterlüfter - Literaturstudie, Marktstudie und Thermische Simulationen (Schlussbericht)*. Zürich: Stadt Zürich, Amt für Hochbauten, Fachstelle Energie und Gebäudegechnik.
 28. Huber, H., Stünzi, C., Sibold, C., & Kunz, D.-S. (2018). *ABLEG - Abluftanlagen in der energetischen Gebäudeerneuerung*. Muttenz: IEBau, FHNW (im Auftrag des BFE).
 29. Primas, A., Huber, H., Hauri, C., & Näf, M. (2018). *Abluftanlagen und Einzelraumlüftungen im Vollzug Energie*. Horw: EnFK Regionalkonferenz Ostschweiz.
 30. Dorer, V., & Pfeiffer, A. (2002). *Energieeffiziente und bedarfsgerechte Abluftsysteme mit Abwärmenutzung (ENABL), Schlussbericht*. Dübendorf: Bundesamt für Energie BFE.
 31. Hauri, C., Primas, A., & Huber, H. (2019). *Küchenabluft bei der energetischen Gebäudesanierung und im Neubau*. Bern: Bundesamt für Energie BFE.



32. Hässig, W., Primas, A., Gerber, D., Huber, H., Weber, T., & Hauri, C. (2005). *Untersuchung zur Lüftung von sanierten Mehrfamilienhäusern*. Zürich: Basler und Hofmann Ingenieure und Planer.
33. Huber, H., Settembrini, G., Primas, A., & Zuber, S. (2022). *Vergleich von Lüftungskonzepten für Wohnbauten*. Bern: EnergieSchweiz, Bundeamt für Energie BFE.
34. Hoffmann, C., Geissler, A., Hauri, C., Huber, H., & Primas, A. (2021). *FENLEG: Fensterlüfter in der etappierten Gebäudesanierung - ist der Einsatz erfolgreich?* Bern: Bundesamt für Energie BFE.
35. Moser, M.-T., Primas, A., & Zakovorotnyi, A. (2022). *Analyse vereinfachter Lüftungskonzepte*. Bern: EnergieSchweiz, Bundeamt für Energie BFE.
36. Knecht, K., & Sigrist, D. (2019). *Vergleich der beiden Lüftungskonzepte der Siedlung Klee bezüglich Ökologie und Ökonomie sowie Befragung der Bewohner*. Dübendorf: s3 GmbH.
37. Hauri, C., Huber, H., Jasari, J., Näf, M., Hoffmann, C., & Geissler, A. (2020). *Konditionierung von Kellerräumen in Wohngebäuden*. Bern: EnergieSchweiz, Bundeamt für Energie BFE.
38. Settembrini, G., Zakovorotnyi, A., & Koschenz, M. (2021). *Nachtauskühlung über Lüftungsöffnungen in der Fassade – Wirksamkeitsanalyse*. Zürich: Amt für Hochbauten, Stadt Zürich.
39. Heiselberg (ed.), P. (2002). *IEA-ECB Annex 35: Principles of Hybrid Ventilation*. Aalborg: Hybrid Ventilation Centre, Aalborg University.
40. Jagpal, R. (2006). *Control Strategies for Hybrid Ventilation in New and Retrofitted Office and Education Buildings (HYBVENT) - IEA Annex 35*. Hertfordshire: FaberMaunsell Ltd.
41. Grundmann, R., Roloff, J., Meinold, U., & Rösler, M. (2004). *Hybride Lüftungssysteme Prinzipien, Planung, Berechnung und Beispiele - FIA Bericht 90 04/04*. Bietigheim-Bissingen: Fachinstitut Gebäude-Klima e.V.
42. Wouters, P., & Al., E. (1999). *Classification of Hybrid Ventilation Concepts. IEA-EBC Annex 35 Technical Paper*. Brussels.
43. Aggerholm, S. (2002). *Hybrid Ventilation and Control Strategies in the A35 Case Studies*. IEA-EBC Annex 35.
44. Heikkinen, J., & et. al. (2002). *Performance simulation of hybrid ventilation concepts. IEA-EBC Annex 35 Technical Report*. Espoo: VTT Technical Research Centre of Finland.
45. Heiselberg (ed.), P. (2018). *IEA-EBC Annex 62 Ventilative Cooling Design Guide*. Aalborg: Hybrid Ventilation Centre, Aalborg University.
46. O'Sullivan, P., & O'Donovan, A. (2018). *IEA-EBC Annex 62 Ventilative Cooling Case Studies*. Aalborg: Aalborg University.
47. Op't Veld, P. (2008). Introduction to EC RESHYVENT-EU cluster project on demand controlled hybrid ventilation for residential buildings. *Building and Environment*, 43(8), 1342–1349. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2007.01.043>
48. de Gids (ed.), W. (2007). *EU RESHYVENT - Source book for residential hybrid ventilation development*. Brussels.
49. Dorer, V., Weber, A., & Pfeiffer, A. (2005). *AIVC TN 59 - Parameters for the design of demand controlled hybrid ventilation systems for residential buildings*. Brussels: AIVC (Air infiltration and Ventilation Centre).
50. Dorer, V., & Weber, A. (2005). *Parameters for the performance assessment of hybrid ventilation systems - Performance criteria, target levels and design constraints. EU*



RESHYVENT Working report.

51. Niachou, K., Santamouris, M., & Georgakis, C. (2007). *AIVC TN 61 Natural and Hybrid Ventilation in the Urban Environment*. Brussels: AIVC (Air infiltration and Ventilation Centre).
52. Maas, A. (1995). *Experimentelle Quantifizierung des Luftwechsels bei Fensterlüftung*. Universität Gesamthochschule Kassel, Kassel.
53. Hall, M. (2004). *Untersuchungen zum thermisch induzierten Luftwechselepotential von Kippfenstern*. Universität Kassel.
54. Artmann, N., Manz, H., Heiselberg, P. (2008). *Passive Cooling of buildings by night-time ventilation*. Bern: Bundesamt für Energie BFE.
55. Artmann, N., Gyalistras, D., Manz, H., & Heiselberg, P. (2008). Impact of climate warming on passive night cooling potential. *Building Research and Information*, 36(2), 111–128. <https://doi.org/10.1080/09613210701621919>
56. Voss, T. (2016). *Experimentelle und rechnerische Untersuchungen zur Kühlung dezentral belüfteter Gebäude mittels Nachtlüftung unter Berücksichtigung mikroklimatischer Einflüsse*. Bergische Universität Wuppertal.
57. Salcido, J. C., Raheem, A. A., & Issa, R. R. A. (2016). From simulation to monitoring: Evaluating the potential of mixed-mode ventilation (MMV) systems for integrating natural ventilation in office buildings through a comprehensive literature review. *Energy and Buildings*, 127, 1008–1018. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.06.054>
58. Chenari, B., Carrilho, J. D., & da Silva, M. G. (2016). Towards sustainable, energy-efficient and healthy ventilation strategies in buildings: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 59, 1426–1447. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.01.074>
59. Sakiyama, N. R., Carlo, J. C., Frick, J., & Garrecht, H. (2020). Perspectives of naturally ventilated buildings: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 130, 1–18. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109933>
60. Zhai, Z., Johnson, M. H., & Krarti, M. (2011). Assessment of natural and hybrid ventilation models in whole-building energy simulations. *Energy and Buildings*, 43(9), 2251–2261. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.06.026>
61. Mühlebach, M., Ménard, M., Carisch, L., & Hofer, A. (n.d.). *2000-Watt-Leuchtturm-Areal "mehr als wohnen."* Bern: Bundesamt für Energie BFE.
62. Ménard, M., Mühlebach, M., Carisch, L., & Talattad, M. (2018). *Evaluation Lüftung "mehr als wohnen."* Zürich: Amt für Hochbauten, Stadt Zürich.
63. Cho, H., Cabrera, D., Sardy, S., Kilchherr, R., Yilmaz, S., & Patel, M. K. (2021). Evaluation of performance of energy efficient hybrid ventilation system and analysis of occupants' behavior to control windows. *Building and Environment*, 188(November 2020), 107434. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107434>
64. Stettler, M. (2021). *Schwerkraftlüftung in Nassräumen - eine Untersuchung der Funktionalität anhand einer thermischen Gebäudesimulation*. Fachhochschule Nordwestschweiz.
65. Hall, M., Gerber, V., & Geissler, A. (2022). Schwerkraftlüftung - Low-tech Lüftung für innenliegende Bäder in einem Mehrfamilienhaus. In Brenet (Ed.), 22. *Status-Seminar "Forschen für den Bau im Kontext von Energie und Umwelt"* (pp. 1–11). Aarau: Brenet.
66. Voss, K., Herkel, S., Pfafferoth, J., Löhnert, G., & Wagner, A. (2007). Energy efficient office buildings with passive cooling - Results and experiences from a research and demonstration programme. *Solar Energy*, 81(3), 424–434. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2006.04.008>
67. Eicker, U., Seeberger, P., Fischer, H., & Müller, J. (2005). *Evaluierung Passiv-Bürohaus*



- Lamparter - Endbericht*. Berlin: Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit.
68. SolarBau:MONITOR. (2000). *Portrait Nr. 3 Verwaltungsgebäude Wagner Solartechnik*. Freiburg: FhG ISE.
 69. Gropp, T., Schindler, H., & Wambsganss, M. (2003). *DB Hamm - Abschlussbericht*. Berlin: Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie.
 70. SolarBau:MONITOR. (2003). *Portrait Nr. 23: Umweltbundesamt Dessau*. Freiburg: FhG ISE.
 71. Böttcher, O., Römming, U., Kraus, C., & Albers, J. (2009). *Messprogramm und Evaluierung zum energetisch optimierten Neubau des Umweltbundesamtes in Dessau*. Berlin: Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR).
 72. SolarBau:MONITOR. (n.d.). *Portrait Nr. 16: Energieforum Berlin*. Freiburg: FhG ISE.
 73. Osterhage, T., Cali, D., Streblow, R., & Müller, D. (2015). Ergebnisse einer energetischen Sanierung: Abweichungen zwischen Energiebedarf und Verbrauch - ist nur der Nutzer schuld? *Bauphysik*, 37(2), 100–104. <https://doi.org/10.1002/bapi.201510012>
 74. Osterhage, T., & Cali, D. (2016). *Auswirkungen des Reboundeffekts bei der Sanierung von Bestandsgebäuden*. Berlin: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie.
 75. S. Berthin, B. Collignan, P. O'Kelly, J.L. Savin, J. V. (2006). *Projet NANGIS – HR-VENT - Rapport final. Mise en oeuvre et mesure des performance d'un systeme de ventilation hygroreglable en renovation avec assistance mecanique tres basse pression*. Marne La vallée Cedex: Aereco.
 76. Brohus, H., Frier, C., & Heiselberg, P. (2003). Measurements of Hybrid Ventilation Performance in an Office Building. *International Journal of Ventilation*, (1:4), 77–88. <https://doi.org/10.1080/14733315.2003.11683646>
 77. Heijmans, N., & Wouters, P. (2002). *Pilot study report: PROBE, Limelette, Belgium*. Brussels: Belgian Building Research Institute.
 78. Jicha, M., Charvat, P., de Gids, W., & Meester, A. (2004). A Czech demonstration house with hybrid ventilation. In *25th AIVC Conference "Ventilation and retrofitting", Prague, Czech Republic, 15-17 September 2004*. AIVC (Air infiltration and Ventilation Centre).
 79. Sack, N., Hessinger, J., & Pütz, M. (2010). *Einsatzempfehlungen für Fensterlüfter - Abschlussbericht*. Osnabrück: Deutsche Bundesstiftung Umwelt.
 80. Wildeboer. (2020). *WiVent Lüftungssystem - Anwenderhandbuch 8.1*. Weener: Wildeboer Bauteile GmbH.
 81. Sprecher, F., & Estévez, M. (2011). *Produktewettbewerb, Aktive Überströmer, Bericht des Preisgerichtes*. Zurich.
 82. SIA 180-C2:2020. Wärmeschutz, Feuchteschutz und Raum-klima in Gebäuden – p Korrigenda C2 zur Norm SIA 180:2014 (2020). Schweiz: Schweizerischer Ingenieur und Architektenverein.
 83. Zweifel, G. (2021). *Case Study on EN 16798-7 for Natural Ventilation*. Rotterdam: EPB Center.
 84. Khovalyg, D., Kazanci, O. B., Halovorsen, H., Gundlach, I., Banfleth, W. P., Toftum, J., & Olesen, B. W. (2020). Critical review of standards for indoor thermal environment and air quality. *Energy & Buildings*, 213, 1–19. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.109819>
 85. CEN/TR 14788:2006. Lüftung von Gebäuden - Ausführung und Bemessung der Lüftungssysteme von Wohnungen (2006).
 86. Heinz, E., Hartmann, T., & Borrmann, D. (2021). *Wohnungslüftung - frei und ventilatorgestützt. Anforderungen, Grundlagen, Massnahmen, Normenanwendung* (4th ed.). Berlin: Beuth Verlag GmbH.



87. Hartmann, T., & Solcher, O. (2021). *Lüftungssysteme für Wohnungen - Konzepte und Praxisbeispiele nach DIN 1946-6* (2nd ed.). Berlin: Beuth Verlag GmbH.
88. Delsante, A., & Vik, T. A. (2000). *Hybrid Ventilation: State-of-the-art Review*. IEA-ECBS Annex 35 HybVent.
89. Schulze-Darup, B., Kah, O., Moriske, H.-J., & Daniels, A. (2020). *Anforderungen an Lüftungskonzeptionen in Gebäuden Teil II : Wohngebäude*. Dessau: Umweltbundesamt.
90. Güttinger, H., van Velsen, S., Lehmann, B., Frank, T., Dorer, V., Lichtensteiger, T., ... Beerle, D. (2009). *Energie-Detailbilanz des Eawag Forum Chriesbach*. Bern: Bundesamt für Energie BFE.
91. SVGW. Unterdruck in Aufstellungsräumen für Feuerungsanlagen - Beeinflussung von Feuerungsanlagen durch lufttechnische Anlagen. , 12 G10110 (2003).
92. Heiselberg, P., Hendriksen, O. J., & Antvorskov, S. (2007). *Komponentudvikling til el-effektiv behovsstyret hybrid ventilation i boliger: Forundersøgelse*. Aalborg: Aalborg University.
93. Huber, H. (2016). *Komfortlüftung in Wohngebäuden - Systeme, Konzepte, Umsetzung* (1st ed.). Köln: Verlagsgesellschaft Rudolf Müller GmbH & Co KG.
94. Bionda, D., Settembrini, G., & Doningo, S. (2021). *SYGREN - Systemkennwerte Graue Energie Gebäudetechnik*. Bern: Bundesamt für Energie BFE.
95. Klingler, M., Kasser, U., Savi, D., Primas, A., Stettler, Y., & Gujer, P. (2014). *Ökobilanzdaten für Lüftungs- und Wärmeanlagen - Sach- und Ökobilanzen von sechzehn verschiedenen Gebäuden in den Bereichen Wohnen, Büro, Schulen und Altersheime*. Bern.
96. Eicker, U. et al. (2016). *KonLuft – Energieeffizienz von Gebäuden durch kontrollierte natürliche Lüftung*. Stuttgart.
97. Frei, V., & Signer, M. (2016). *Natürliche Lüftung in Wohnbauten*. Hochschule Luzern.
98. SIA 108:2020. Ordnung für Leistungen und Honorare der Ingenieurinnen und Ingenieure der Bereiche Gebäudetechnik, Maschinenbau und Elektrotechnik (2020). Schweiz: Schweizerischer Ingenieur und Architektenverein.
99. SIA 102:2020. Ordnung für Leistungen und Honorare der Architektinnen und Architekten (2020). Schweiz: Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein.
100. de Dear, R., Xiong, J., Kim, J., & Cao, B. (2020). A review of adaptive thermal comfort research since 1998. *Energy and Buildings*. Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.109893>
101. prSIA 382/1:2022-06. Mechanische Lüftung von Gebäuden - Grundlagen und Anforderungen (2022). Schweiz: Schweizerischer Ingenieur und Architektenverein.
102. SN EN ISO 9972. Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden - Bestimmung der Luftdurchlässigkeit von Gebäuden - Differenzdruckverfahren (ISO 9972:2015) (2015). Schweiz: Schweizerischer Ingenieur und Architektenverein.
103. Notter, G., & Wehrli, M. (2021). *Richtlinie Luftdichtheit bei Minergie-Bauten, Version 2022.1*. Basel.
104. Hartmann, T. (2010). Aussenluftdurchlässe in der Wohnungslüftung - Relikt oder Option? *Gesundheits-Ingenieur*, 131(4), 199–202.
105. SIA 2023:2008. Lüftung in Wohnbauten (Merkblatt) (2008). Schweiz: Schweizerischer Ingenieur und Architektenverein.
106. Reichel, D. (1999). *Zur Zuluftsicherung von nahezu fugendichten Gebäuden mittels dezentraler Lüftungseinrichtungen - Dissertation*. Dresden: Technische Universität Dresden.



107. Schulze, T., & Eicker, U. (2013). Controlled natural ventilation for energy efficient buildings. *Energy and Buildings*, 56, 221–232. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.07.044>
108. Fiorentini, M., Serale, G., Kokogiannakis, G., Capozzoli, A., & Cooper, P. (2019). Development and evaluation of a comfort-oriented control strategy for thermal management of mixed-mode ventilated buildings. *Energy and Buildings*, 202, 109347. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109347>
109. Psomas, T., Fiorentini, M., Kokogiannakis, G., & Heiselberg, P. (2017). Ventilative cooling through automated window opening control systems to address thermal discomfort risk during the summer period: Framework, simulation and parametric analysis. *Energy and Buildings*, 153, 18–30. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.07.088>
110. Gehrig, R., König, N., & Scherrer, S. (2018). *Städtische Wärmeinseln in der Schweiz - Klimatologische Studie mit Messdaten in fünf Städten*. Zürich-Flughafen: Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie.
111. Koschenz, M., Domingo Irigoyen, S., Ragetti, M., Widmer, C., & Kafadar, M. (2021). *ResCool: Klimaanpassung von Neu-, Um- und bestehenden Wohnbauten – effiziente Kühlkonzepte*. Bern: Bundesamt für Energie BFE.
112. Settembrini, G., Domingo, S., Heim, T., Jurt, D., Zakovorotnyi, A., Seerig, A., ... Menti, U.-P. (2017). *ClimaBau – Planen angesichts des Klimawandels*. Bern: Bundesamt für Energie BFE.
113. Spindler, H. C., & Norford, L. K. (2009). Naturally ventilated and mixed-mode buildings-Part II: Optimal control. *Building and Environment*, 44(4), 750–761. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2008.05.018>
114. Stadt Zürich (Hrsg.). (2020). *Programm Klimaanpassung: Fachplanung Hitzeminderung*. Zürich: Stadt Zürich, Grün Stadt Zürich.
115. Hamdy, M., & Mauro, G. M. (2019). Optimizing Hybrid Ventilation Control Strategies Toward Zero-Cooling Energy Building. *Frontiers in Built Environment*, 5(August), 1–15. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2019.00097>
116. prEN 15665:2021-07-23. Ventilation for buildings —Ventilation systems in residential buildings —Design (preliminary version) (2021). Frankreich: Comité Européen de Normalisation.
117. Sibille, E., Rojas-Kopeinig, G., Pfluger, R., Greml, A., Trojer, A., Suschek-Berger, J., ... Knotzer, A. (2015). *Konzepte für die „low-tech“ Komfortlüftung in großvolumigen Wohngebäuden und deren Nutzungskomfort*. Wien: Klima- und Energiefondes.
118. Li, P., Parkinson, T., Schiavon, S., Froese, T. M., de Dear, R., Rysanek, A., & Staub-French, S. (2020). Improved long-term thermal comfort indices for continuous monitoring. *Energy and Buildings*, 224, 110270. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110270>
119. Huber, H. (2021). *Wohnungslüftung - Planung, Ausführung, Betrieb* (1st ed.). Zürich: Faktor Verlag. Retrieved from www.energieschweiz.ch
120. Kriesi, R. (2012). *Reales Lüftungsverhalten in Wohnen mit unterschiedlichen Lüftungssystemen - Schlussbericht*. Wädenswil: Kriesi Energie GmbH.
121. Frei, B., & Haldi, F. (2021). *Bericht BAG Projekt 142004514 Nutzungs- und zeitabhängige Feuchteproduktion mit unterer und oberer Grenze Phase I*. Bern: Bundesamt für Gesundheit (BAG).
122. Frei, B. (2020). *Bericht BAG-Projekt 142004170 Minimale Aussenluftvolumenströme für den Feuchteschutz nach SIA 180:2014*. Bern: Bundesamt für Gesundheit (BAG).
123. Hoffmann, C., Geissler, A., & Huber, H. (2015). Fensterlüfter in der Gebäudesanierung. *Bauphysik*, 37(3), 169–178. <https://doi.org/10.1002/bapi.201510018>



124. Hartmann, T. (2020). DIN 1946-6: Lüftungskonzept und Luftvolumenströme. *TGA - Fachplaner*, 08, 1–14. Retrieved from <https://www.tga-fachplaner.de/raumluftechnik/artikelserie-ueberarbeitung-der-din-1946-6-teil-%0A2-din-1946-6-lueftungskonzept-und>
125. Greml, A., Pfluger, R., & Tappler, P. (2021). *Lüftungskonzept Österreich*. Wien: Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK).
126. SIA 382/2:2011. Klimatisierte Gebäude - Leistungs- und Energiebedarf (2011). Schweiz: Schweizerischer Ingenieur und Architektenverein.
127. SIA 2044:2019. Klimatisierte Gebäude - Standard-Berechnungsverfahren für den Leistungs- und Energiebedarf (2019). Schweiz: Schweizerischer Ingenieur und Architektenverein.
128. VKF 25-15: 2015. Brandschutzrichtlinie - Lufttechnische Anlagen (2015). Schweiz: Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen (VKF).
129. Hässig, W., & Schickor, C. (2012). *Lüftung für Schulen - Studie zu geeigneten Lüftungen für Schulhäuser bei Modernisierungen*. Zürich.
130. Vereinigte Kantonale Feuerversicherung. Brandschutznorm (2015).
131. GebäudeKlima Schweiz. Stand der Technik Papier: Brandschutz in Lüftungen von Wohnbauten (Version 2/2017) (2017). Schweiz.
132. MeteoSchweiz, SIA, & Hochschule Luzern. (2022). *Klimaszenarien fürs zukünftige Innenraumklima (SIA 2028) – Schlussbericht der Projekte «Klimaangepasstes Bauen – Grundlagen für die Zukunft» und A.15 «Aktuelle Klimadaten für Bauplanende»*. Zürich-Flughafen: Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie.
133. Mussetti, G., Brunner, D., Allegrini, J., Wicki, A., Schubert, S., & Carmeliet, J. (2020). Simulating urban climate at sub-kilometre scale for representing the intra-urban variability of Zurich, Switzerland. *International Journal of Climatology*, 40(1), 458–476. <https://doi.org/10.1002/joc.6221>
134. SIA 2024:2021. Raumnutzungsdaten für die Energie- und Gebäudetechnik (2021). Schweiz: Schweizerischer Ingenieur und Architektenverein.
135. SIA 4001:2022. Wärmeschutz, FEuchteschutz und Raumklima in Gebäuden - Wegleitung zur Norm SIA 180:2014 (2022). Schweiz: Schweizerischer Ingenieur und Architektenverein.
136. SNG CEN/TR 16798-4:2017. Energy performance of buildings - Part 4: Ventilation for non-residential buildings - Performance requirements for ventilation, air conditioning and room-conditioning systems - Technical Report - Interpretation of the requirements in EN 16798-3 (2017). Schweiz: Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein.
137. Kah, O., Hartmann, T., Knaus, C., Broege, M., & Bruns, A. (2020). Bewertung von Küchen-Dunstabzugssystemen in energieeffizienten Gebäuden. *Bauphysik*, 42(1), 34–44. <https://doi.org/10.1002/bapi.201900028>
138. SN EN 13142:2021-12. Lüftung von Gebäuden - Bauteile/Produkte für die Lüftung von Wohnungen - Geforderte und frei wählbare Leistungskenngrößen (2021). Schweiz: Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein.
139. Dimitroulopoulou, C. (2012). Ventilation in European dwellings: A review. *Building and Environment*, 47, 109–125. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.07.016>
140. Friedrich, M., Schweers, K., & Wellershoff, F. (2022). Vordimensionierung von Lüftungsöffnungen in Doppelfassaden. *Bauphysik*, 44(4), 187–202. <https://doi.org/10.1002/bapi.202200018>
141. ift Rosenheim. Fensterlüfter, Teil 2: Empfehlungen für die Umsetzung von Lüftungstechnischen



- Massnahmen im Wohnungsbau (ift-Richtlinie) (2010). Rosenheim, Deutschland.
142. Beike, M., & Nadler, N. (2020). Feuchteschutzlüftung - Lüftungskonzept mit Fensterlüftung. *TGA - Fachplaner*. Retrieved from <https://www.tga-fachplaner.de/raumluftechnik/feuchteschutzlueftung-lueftungskonzept-mit-fensterlueftung>
 143. SN EN 13141-1:2019. Lüftung von Gebäuden - Leistungsprüfungen von Bauteilen/Produkten für die Lüftung von Wohnungen - Teil 1: Aussenwand- und Überströmluftdurchlässe (2019). Schweiz: Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein.
 144. Sibille, E., Rojas-Kopeinig, G., Rothbacher, M., Pfluger, R., & Malzer, H. K. (2013). *Komfort- und kostenoptimierte Luftführungskonzepte für energieeffiziente Wohnbauten „Doppelnutzen“*. Wien: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie.
 145. SN EN 50491-6-1: 2014. Allgemeine Anforderungen an die Elektrische Systemtechnik für Heim und Gebäude (ESHG) und an Systeme der Gebäudeautomation (GA) - Teil 6-1: ESHG-Installationen - Installation und Planung (2014). Schweiz: Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein.
 146. SN EN 12207:2016. Fenster und Türen - Luftdurchlässigkeit - Klassifizierung (2016). Schweiz: Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein.
 147. SN EN 12599:2012. Lüftung von Gebäuden - Prüf- und Messverfahren für die Übergabe raumluftechnischer Anlagen (2012). Schweiz: Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein.
 148. SIA 118:2013. Allgemeine Bedingungen für Bauarbeiten (2013). Schweiz: Schweizerischer Ingenieur und Architektenverein.
 149. SIA 118/380:2007. Allgemeine Bedingungen für Gebäudetechnik (2007). Schweiz: Schweizerischer Ingenieur und Architektenverein.
 150. EnergieSchweiz. (n.d.). *Leistungsgarantie Haustechnik* (805.250.D.). EnergieSchweiz. Retrieved from www.leistungsgarantien.ch
 151. SIA 2046:2015. Integrale Tests von Gebäudetechniksystemen (2015). Schweiz: Schweizerischer Ingenieur und Architektenverein.
 152. SWKI BT104-01:2021. Betreiben und Instandhalten von gebäudetechnischen Anlagen – Teil 1: Grundlagen (2021). Schweiz: Schweizerischer Verein von Gebäudetechnik-Ingenieuren (SWKI).
 153. BTGA 2.001:2021-09. Anforderungen an die Anlagendokumentation in der TGA (2021). Deutschland: Bundesindustrieverband Technische Gebäudeausrüstung e. V.
 154. VDI 6026 Blatt 1:2022-08. Dokumentation in der technischen Gebäudeausrüstung (TGA) - Inhalte und Beschaffenheit von Planungs-, Ausführungs- und Revisionsunterlagen (2022). Deutschland: Verein Deutscher Ingenieure e.V.
 155. prSWKI BT 104-02:2021. Betreiben und Instandhalten von gebäudetechnischen Anlagen - Teil 2: Lüftungs- und Klimaanlagen. Schweiz: Schweizerischer Verein von Gebäudetechnik-Ingenieuren.
 156. VDI 3810 Blatt 4: 2013-12. Betreiben und Instandhalten von Gebäuden und gebäudetechnischen Anlagen - Raumluftechnische Anlagen (2013). Deutschland: Verein Deutscher Ingenieure e.V.
 157. SWKI VA104-01:2019. Hygiene-Anforderungen an Raumluftechnische Anlagen und Geräte (2019). Schweiz: Schweizerischer Verein von Gebäudetechnik-Ingenieuren (SWKI).
 158. SIA 2048:2015. Energetische Betriebsoptimierung (2015). Schweiz: Schweizerischer Ingenieur und Architektenverein.



159. SWKI BT105-01:2021. Facility-Management – Technisches Monitoring von Gebäuden und gebäudetechnischen Anlagen (2021). Schweizerischer Verein von Gebäudetechnik-Ingenieuren (SWKI).



10 Anhang 2: Produkte

10.1 Komponenten/Produkte für passive Luftstromerhöhung

Eine Luftstromerhöhung in einem natürlichen resp. hybriden Lüftungssystem durch eine passive Erhöhung der Druckdifferenzen kann einerseits durch einen erhöhten Kamineffekt und andererseits durch die Nutzung von Wind erreicht werden.

Dieser Anhang gibt einen Überblick über Komponenten, die als Hauben oder Überdach-Elemente Wind nutzen zur Druckerhöhung in Aussenluftfassungen oder zur Druckreduktion (Saugeffekt) im Abluft-/Fortluftstrang.

Passiv luftstromerhöhende Hauben werden im mitteleuropäischen Raum vor allem als Schornsteinhauben, aber auch als Hauben auf Abluft/Fortluft-Schächten und -Rohren eingesetzt.

In Ländern mit einem Klima, in dem Wind gegenüber der Schweiz konstanter und/oder dominanter auftritt, werden auch aufwendigere Lösungen für Hauben bis hin zu hochentwickelten Turm-Lösungen zur Nutzung von Wind und Kamineffekt eingesetzt, siehe z. B. [1].

Überblicke über insbesondere windgetriebene passive Techniken geben [4] – [8].

Eine detaillierte Methode zur Berechnung des Windeinflusses auf ein natürliches oder hybrides Lüftungssystem mit Ablufthaube ist in [9] erläutert.

10.1.1 Hauben für Fortluftkanäle

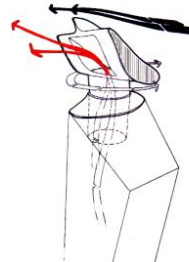
Unterdruckerhöhende Komponenten, die auf dem Venturi – Prinzip basieren.



MFH Winterthur (Foto: V.Dorer)



<https://www.cafiro.de>



Wind towers (1999)



en.wikipedia.org/wiki/BedZED
www.zedfactory.com/bedzed

Indikative Druckminderung (Sogerhöhung) für Venturi-Hauben:
4 Pa bei 2.5 m/sec Anströmung, bis 60 Pa bei 10 m/sec [2], [3]



Mit windgetriebenem rotierendem Element



www.manomano.de



www.rotovent-systems.com
Mittelschule Wien



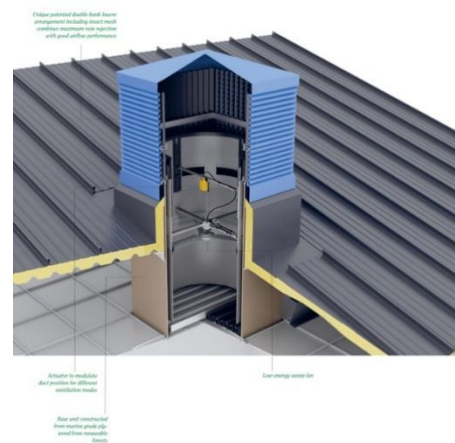
VAWTEX, Ove Arup

Indikative Werte [2], [3]:

Generierter Volumenstrom, für 300mm Durchmesser:
Bei Windgeschwindigkeiten > 1.5. m/sec: 800m³/h
> 3.0 m/sec 1500

Detaillierte Angaben über solche 'turbine ventilators' finden sich z. B. in [10] und [11].

10.1.2 Dachmontierte Abluftkomponenten

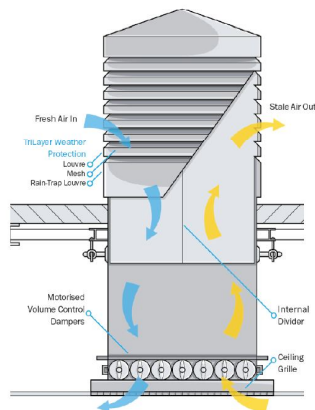


<https://www.passivent.com/app/uploads/2022/01/Roof-Ventilation-Terminals-Brochure.pdf>

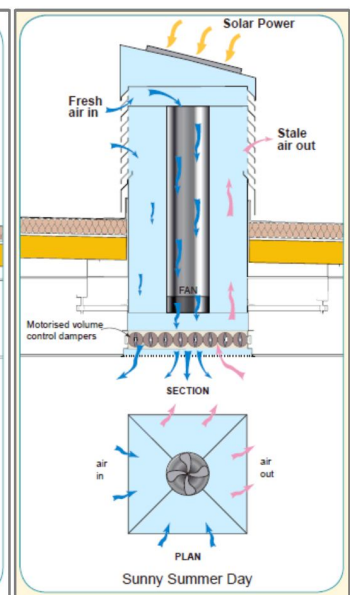
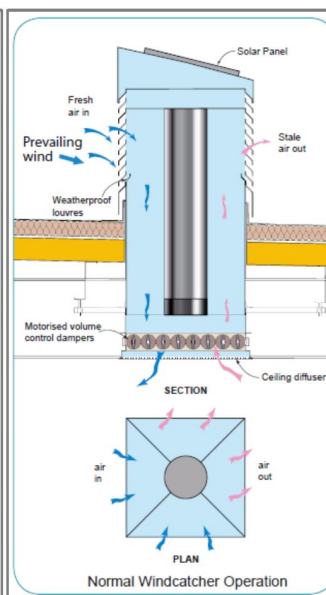
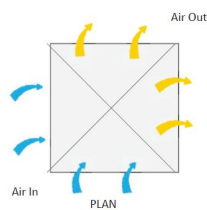


10.1.3 Dachmontierte Aussenluft- und Fortluft-Komponenten

Windcatcher principles



1. Wind movement
2. Air intake
3. Positive pressure
4. Cooler air
5. Low pressure
6. Natural buoyancy



<https://www.monodraught.com/products/natural-ventilation>

Referenzen:

Krause B., Cook M., Lomas K. Environmental performance of a naturally ventilated city centre library. Energy and Buildings 39, 2007.
<https://doi:10.1016/j.enbuild.2007.02.010>



Ventilative Cooling Components - An Overview. AIVC-Venticool Webinar 2021-06-01'Resilient Ventilative Cooling in Practice' Presentation by P. Holzer.

https://www.aivc.org/system/files/2_PH.pdf

IEA EBC-Annex-62. Ventilative Cooling Source Book. March 2018

Khan N., Su Y., Riffat S.B. A review on wind driven ventilation techniques. Energy and Buildings 40, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2008.02.015>

Parker J. and Teekaram A. Wind-Driven Natural Ventilation Systems. BSRIA Guide 2005. www.bsria.co.uk.

McCarthy B., McCarthy C. Wind Towers. Detail in Building. Wiley.1999

Jason L., Noor A. Wind Driven Ventilation for Enhanced Indoor Air Quality. 2011. <https://www.intechopen.com/chapters/16338>

Zhang H. et al. A critical review of combined natural ventilation techniques in sustainable buildings. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 141, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110795>

Pfeiffer A., Dorer V., Weber A. Modelling of cowl performance in building simulation tools using experimental data and computational fluid dynamics. Building and Environment, 43(8), 2008. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2007.01.038>

Wang B. et al. A novel turbine ventilator with a damper regulator to adjust exhausted air for energy-saving in buildings. Journal of Building Engineering, 38, 2021 <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2020.102141>

Lai Ch. Experiments on the ventilation efficiency of turbine ventilators used for building and factory ventilation. Energy and Buildings 35(9), 2003 [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(03\)00024-0](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(03)00024-0)