

# LOGISTICS INNOVATION

Verein Netzwerk Logistik Schweiz  
Ausgabe 2/2020

ISSN 2624-8956 (Print), ISSN 2624-8964 (Online)

## Bildung

Bildungsangebot  
Schweizer Hochschulen  
Komplexe Dynamik beherrschen

## Forschung

SCM in times of COVID-19  
Digitalisierung in der Baulogistik  
Digitale Transformation in der SC

## Technologie

Brandvermeidung durch  
Sauerstoffreduktionsanlagen  
Verwandlung von Abfall  
in Intelligenz  
Smart Trolley – IoT in der Logistik

Thema:

## Logistik Lernen

Logistikentwicklung mit Schweizer Hochschulen



VEREIN  
NETZWERK  
LOGISTIK

[www.vnl.ch](http://www.vnl.ch)

**ZIEL**

**Ziel:**

- › Nachhaltig
- › Profitabel
- › Effizient

Logistik-Forum  
Schweiz

Technologie- und  
Innovationspark

**Auf den  
Markt  
bringen**

VNL-Zeitschrift  
«Logistics Innovation»

**Phase 2: Projektförderung maximal 50 %**

**Gemeinsam  
Lösungen  
entwickeln**

**Innosuisse-Projekte:  
Innovation durch geförderte  
Zusammenarbeit von  
Wissenschaft und Wirtschaft**



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Innosuisse – Schweizerische Agentur  
für Innovationsförderung

**Phase 1: KMU-Förderung: Innocheck**

**START**

Swiss Logistics  
Innovation Day

**Vordenken  
und Initiieren**

Expertenrunde,  
Arbeitsgruppen

## Inhaltsverzeichnis

Karine Doan, Mathias Rota, Stefanie Hasler: <b>Supply Chain Management in times of COVID-19</b>	4
Peter Stahl: <b>Brandvermeidung: Sauerstoffreduktions- anlagen für Lager und Logistik</b>	10
Christian Rüegg: <b>Der Weg zu einer nachhaltigen Logistik – Verwandlung von Abfall in Intelligenz</b>	16
Herbert Ruile: <b>Nachhaltige Logistik mit zukunftsfähigen Kompetenzen gestalten</b>	20
Medienmitteilung: <b>Hochschule Luzern und Logistikum Schweiz planen neuen Masterstudiengang</b>	24
Michael Ziegler, Patricia Deflorin, Dieter Conzelmann: <b>Die digitale Transformation in der Supply Chain</b>	26
Innosuisse: <b>Impulsprogramm stärkt die Innovationskraft in der Logistik</b>	30
Daniel Steiner: <b>IoT in der Logistik</b>	32
Rückblick: <b>Swiss Logistics Innovation Day</b>	36
Reto von Arx, Herbert Ruile: <b>Bauleistungen sollen durch Digitalisierung effizienter und nachhaltiger werden</b>	38
Lukas Hollenstein, Andreas Rinkel: <b>Komplexe Dynamik mit Data Science und Simulation beherrschen</b>	42

## Impressum

Verein Netzwerk Logistik Schweiz e.V.  
Technoparkstrasse 1, 8005 Zürich  
Telefon +41 56 500 07 74, office@vnl.ch

Redaktion: Herbert Ruile  
Gestaltung und Produktion: filmreif, 5703 Seon  
Titelbild: Adobe Stock, © Artur  
Druck: Kromer Print AG, Lenzburg  
Einzelverkaufspreis: Fr. 25.–

Haftung: Die Autoren übernehmen die Haftung  
für die Aktualität, Richtigkeit und Vollständigkeit  
ihrer Artikel.

ISSN 2624-8956 (Print), ISSN 2624-8964 (Online)

# LIEBE LESERIN, LIEBER LESER



Zum Jahresabschluss hat uns COVID-19 wieder vollkommen im Griff. Der Quasi-Lockdown zu Weihnachten hat die letzten Hoffnungen auf eine Rückkehr zum «Normal-Business» einer Prä-Corona-Ära zunichte gemacht. Das digitale Leben und Arbeiten ist unter dem Druck der Pandemiebedingungen zur neuen Realität geworden, die bleibende Spuren in der Gestaltung unseren sozialen und beruflichen Beziehungen hinterlassen wird. Ich denke da vor allem an den Begriff von «Social Distancing» und den damit verbundenen digitalen Lösungen von Home-Office, Web-Meetings und -Konferenzen, Webinaren, Online-Learning usw. Aber auch der erhebliche Schub, den der Handel mit E-Commerce erhalten hat. Damit umzugehen hat viele Personen und Unternehmen vor grosse Herausforderungen gestellt, die jedoch unter dem Druck der Einschränkungen zu kreativen Lösungen und Innovationen geführt haben. Die Entwicklung der Börsenkurse zeigen, dass sie sich deutlich weniger durch die Pandemie beeinflussen liessen, als vielfach befürchtet wurde. Durch die Pandemie hat die Entwicklung der digitalen Transformation eine unglaubliche und unerwartete Geschwindigkeit angenommen. Für viele Betriebe haben sich die längst erwarteten Produktivitätsfenster geöffnet, die nun mit **Internet of Things (IoT) Lösungen** möglich und realisiert werden.

Erstaunlicherweise gibt es auch im Rahmen des Bildungsangebots der Hochschulen einen Schub in Richtung Logistik. In einer Umfrage unter den Mitgliedern der **Swiss Logistics Faculty** wurde im Herbst das offene und versteckte Studienangebot für Logistik und SCM erhoben. Es war bekannt, dass vor allem die berufliche Weiterbildung mit CAS und MAS sich stark um Einkauf, Logistik und SCM gekümmert hat. Weniger bekannt ist das wachsende Kursangebot auf Bachelor-Stufe. Mit der Einführung des Fachbereichs des Wirtschaftsingenieurwesens und dem Ausbau der Wirtschaftsinformatik kam dies auch der Logistik zugute.

Bietet die Bachelor-Stufe noch ein beruhsbefähigendes Grundbildungsangebot für Logistik, wird erst in 2022 die Hochschule Luzern mit dem ersten **interdisziplinären Master in Logistik/SCM** an den Start gehen, der die entsprechende Fachvertiefung ermöglicht. Das Logistikum, eine gemeinsame, nicht-gewinnorientierte Einrichtung des VNL Schweiz, der Fachhochschule Steyr und des Vereins Detranz, entwickelt dazu mit der Hochschule Luzern ein integriertes Angebot für Bildung und Innovation für Einkauf, Logistik und SCM. Damit werden die weissen Flecken in der Schweizer Bildungs- und Innovationslandschaft für Logistik schrittweise geschlossen.

Mit den besten Wünschen für das kommende Jahr: Bleiben Sie gesund und optimistisch! Die nächste Krise, und damit die nächste Chance, kommt bestimmt.

Ihr

**Prof. Dr. Herbert Ruile**  
Präsident VNL Schweiz

# BRANDVERMEIDUNG: SAUERSTOFFREDUKTIONSANLAGEN FÜR LAGER UND LOGISTIK



Dr. sc. techn. ETH Peter  
Stahl, Geschäftsführer,  
WAGNER Schweiz AG  
peter.stahl@wagner-schweiz.ch  
www.wagner-schweiz.ch

## Funktion und Rahmenbedingungen für einen effizienten Betrieb.

**Die Brandvermeidung durch Sauerstoffreduktion hat sich bei Hochregallagern, Tiefkühlagern, Archiven und EDV-Räumen am europäischen Markt und insbesondere am Schweizer Markt mit einer hohen Dichte an automatischen Lagersystemen etabliert. Nicht immer sind aber die Faktoren, die einen Betrieb dieser Technik mehr oder weniger effizient machen allen Beteiligten bewusst. Inhalt dieses Artikels ist neben einer Übersicht über die Technik und Funktion auch eine quantitative Verbrauchsabschätzung bei verschiedenen Stickstoffherzeugungs-Technologien und Beschickungsvarianten.**

### Einleitung

In den letzten 15 Jahren hat sich am schweizerischen und internationalen Markt neben der klassischen Brandbekämpfung mittels automatischer Löschanlagen auch die aktive Brandvermeidung durch Sauerstoffreduktion als anerkannte Brandschutzlösung insbesondere für automatische beschickte Lager am Markt etabliert.

Bei der Sauerstoffreduktion wird im Schutzbereich die Entstehung von Bränden dadurch verhindert, dass die Sauerstoffkonzentration durch Zugabe von Stickstoff unter die Entzündungsgrenze der potenziellen Brandstoffe abgesenkt wird. In der Regel bleibt dabei die Restsauerstoffkonzentration immer noch genügend hoch, um eine Begehbarkeit der geschützten Bereiche zu Servicezwecken zu gewährleisten.

In der Schweiz wurde für die Technik eine Richtlinie des Schweizerischen Errichterverbandes (SES) etabliert «Sauerstoffreduzierungsanlagen, Planung, Einbau und Betrieb (2019)». Diese Richtlinie wird vom Verband der

kantonalen Feuerversicherer VKF als Stand der Technik herangezogen.

Diese Richtlinie beschreibt die Anforderung an die Auslegung und Qualität der Installation, um am Schweizer Markt anerkannt und als Alternative zu einer Sprinkleranlage abgenommen zu werden.

### Funktion von Sauerstoffreduzierungsanlagen

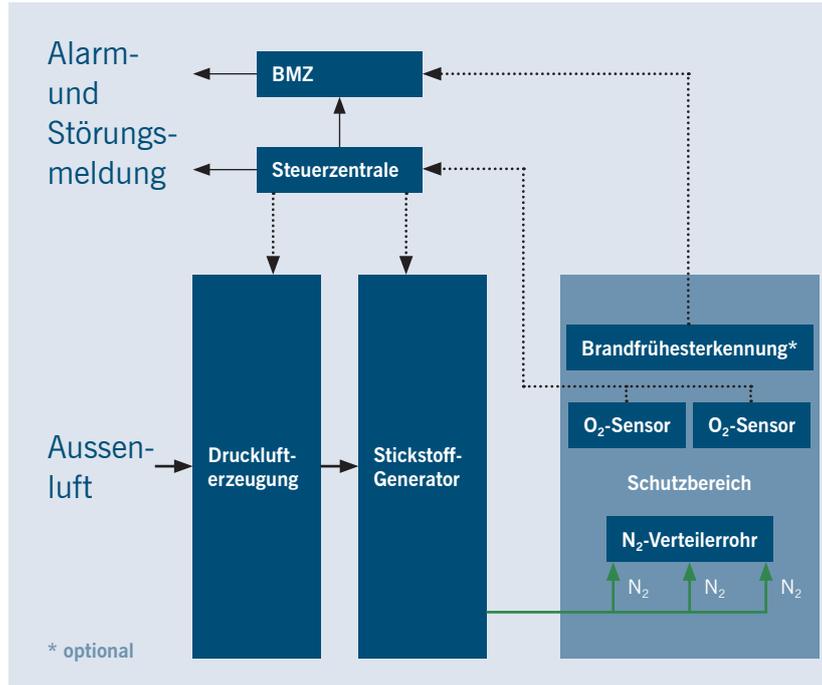
#### Grundprinzip

Bei reduziertem Sauerstoffgehalt in der Umgebungsluft verlangsamen sich chemische Reaktionsprozesse. Daraus resultiert, dass die Wahrscheinlichkeit einer Brandentstehung und die Brandausbreitungsgeschwindigkeit in einer Umgebung mit reduzierter Sauerstoffkonzentration wesentlich geringer sind als unter Normalbedingungen. Unterschreitet die Sauerstoffkonzentration dann die stoffspezifische Entzündungsgrenze eines Brandstoffes, kann dieser nicht mehr in Brand gesetzt werden und selbsttätig weiterbrennen.

Die Messmethode zur Ermittlung dieser Entzündungsgrenzen ist in der SES-Richtlinie festgelegt. Siehe [Tabelle 1](#) für die Werte, die sich für Versuche bei Normaltemperatur ergeben.

Zur Bestimmung der Betriebskonzentration einer Sauerstoffreduzierungsanlage ist jenes potenzielle Brandgut massgeblich, welches die niedrigste Entzündungsgrenze aufweist und in relevanter Menge im Schutzbereich vorkommt. Somit ist der kritischste Stoff im Schutzbereich auslegungsbestimmend. Durch kontinuierliche Zugabe von Stickstoff wird die Sauerstoffkonzentration im Schutzbereich dann unter die Entzündungsgrenze des kritischsten Stoffes abgesenkt.

Brandstoff	Entzündungsgrenze [Vol-%] O <sub>2</sub>
Polyethylen	15,9
Polypropylen	16,0
PMMA	15,9
ABS	16,0
PVC, Kabel	16,9
EDV-Risiko (aus obigem)	15,9
Fichtenholz	17,0
Wellpappe	15,0
Papier	14,1
Ethanol	12,8
Ethylacetat	13,0
Isobutanol	14,8



Bereits ab einer Konzentration unterhalb von 15 Vol.-% Sauerstoff brennen viele feste Stoffe nicht mehr. In Lageranwendungen kann es, abhängig von den gelagerten Stoffen, erforderlich sein, die Sauerstoffkonzentration tiefer abzusenken.

Bei Anwendung der Sauerstoffreduzierung in Tiefkühlagern unter -20 °C liegen die Entzündungsgrenzen aufgrund der dort langsameren chemischen Prozesse höher als im Normaltemperaturbereich. Üblich ist hier eine Grenze von ca. 16,5 Vol.-%, welche aber ebenfalls mit dem effektiven Lagermaterial variieren kann und teilweise sogar höher liegt.

Die Betriebskonzentration liegt dann nach SES-Richtlinie um 0,7 Vol.-% bis 1,2 Vol.-% unterhalb dieser Entzündungsgrenzen.

**Aufbau eines Sauerstoffreduktionssystems**

Die Absenkung der Sauerstoffkonzentration bei Sauerstoffreduzierungsanlagen erfolgt durch kontrollierte Zugabe von Stickstoff, der durch eine Stickstoffherzeugeranlage erzeugt und mit einem Rohrsystem in die Schutzbereiche eingebracht wird.

Es gibt vier gängige Verfahren zur Stickstoffversorgung, wie **Tabelle 2** zeigt.

Bei den drei Verfahren, bei denen Stickstoff vor Ort erzeugt wird, ist für den Prozess Druckluft erforderlich. Diese kann bei den Verfahren PSA und Membran durch redundante Kompressoranlagen erzeugt werden. Bei der VPSA-Variante ist die Druckluftherzeugung Bestandteil der Gesamtherzeugungseinheit. Der vor Ort durch Luftzerlegung erzeugte Stickstoff hat einen Rest-Sauerstoffgehalt von 5 % oder weniger.

**Steuerung**

Die Steuerungseinrichtung muss nach der SUVA-Richtlinie «Arbeiten in sauerstoffreduzierter Atmosphäre»

(siehe SUVA-Merkblatt) ausgeführt sein. Diese fordert für die Mess-, Regel- und Anschaltfunktionen ein Sicherheitslevel PLe Kat.4 gemäss EN 13849-1 erfüllen. Dies beinhaltet unter anderem auch die Verwendung von mehreren Sauerstoffsensoren mit unterschiedlichen Messverfahren im Technikbereich, sowie Redundanzen im Aufbau der Regeltechnik.

**Abbildung 2** zeigt beispielhaft den Verlauf der Sauerstoffkonzentration einer Anlage, die auf eine Betriebskonzentration von 15 Vol.-% Sauerstoff eingestellt ist. Nach einer Inbetriebnahmephase, in der die Konzentration von 21 Vol.-% heruntergefahren wird, hält die Anlage die eingestellte Konzentration in einem Regelbereich von 0,4 Vol.-%.

Üblicherweise werden die Anlagen so ausgelegt, dass etwa 8 bis 10 Stunden pro Stickstoff zugeführt, was einerseits ein optimales Verhältnis von Investitionskosten zu Betriebskosten darstellt und andererseits noch Flexibilität bietet falls sich Schutzbereiche ändern, sei es in Lufteintrag durch Begehung oder Beschickung oder bezüglich Lagergut.

**Begehbarkeit und Arbeitssicherheit**

Gemäss SUVA-Richtlinie «Arbeiten in sauerstoffreduzierter Atmosphäre» können sauerstoffreduzierte Bereiche begangen werden, so die Sauerstoffkonzentration im Schutzbereich über 13,0 Vol.-% liegt. Die hierbei gemachten Auflagen unterscheiden sich in drei Bereiche:

- a) Oberhalb 17 Vol.-%: 6 Stunden am Tag, maximal 4 Stunden am Stück für gesunde Personen
- b) 15 Vol.-% bis 17 Vol.-%: 6 Stunden am Tag, maximal 4 Stunden am Stück mit zweijährlicher arbeitsmedizinischer Untersuchung
- c) 13 Vol.-% bis 15 Vol.-%: 6 Stunden am Tag, maximal 2 Stunden am Stück mit jährlicher arbeitsmedizinischer Untersuchung

**Tabelle 1 (links):**  
Entzündungsgrenzen verschiedener Stoffe bei Normaltemperatur

**Abbildung 1 (rechts):**  
Anlagenaufbau einer Sauerstoffreduzierungsanlage

Verfahren	Beschreibung	Druckluftbedarf
<b>N2-Versorgung aus Vorratstank</b>	Stickstoff wird in Vorratstanks flüssig gelagert und bei Anforderung verdampft und in den Schutzbereich eingeleitet (Regelmässige Wiederbefüllung durch Gasproduzenten)	nein
<b>Membran</b>	Lufterlegung durch Membran-Hohlfasern. Wirkt wie ein Molekularsieb, sauerstoffreiche Luft wird abgeleitet, Stickstoff in den Schutzbereich geführt.	Ja, bei 10 bis 12 bar
<b>PSA</b> (Pressure Swing Adsorption – Druck wechselabsorption)	Trennung von Stickstoff und Sauerstoff in Aktivkohle behältern unter Druck. Hier wird Sauerstoff adsorbiert, also ausgefiltert. Sauerstoffreiche Luft wird abgeleitet, Stickstoff anschliessend bei Druckabbau in den Schutzbereich geführt.	Ja, bei 7 bis 10 bar
<b>VPSA</b> (Vacuum Pressure Swing Adsorption – Vakuum-Druckwechselabsorption)	Wie PSA, nur bei deutlich tieferer Druckstufe. Entlastung der Aktivkohlebehälter hier durch Vakuumpumpen	Ja, bei bis zu 3 bar

**Tabelle 2:**  
**Varianten der Stickstoffherzeugung**

Dauerhafte Arbeitsplätze dürfen im Schutzbereich nicht eingerichtet werden.

Bezüglich der Auswirkung auf den menschlichen Körper kann man grundsätzlich einen Vergleich zwischen Restsauerstoffniveau und Höhenlage heranziehen, den **Abbildung 3** zeigt.

In einer Höhe von 2'700 bis 3'000 Metern entspricht das Angebot an Sauerstoff für den Körper ca. 15 Vol.-% auf Meereshöhe (siehe «Handbuch der Arbeitsmedizin»). Der Grund ist, dass aufgrund der in der Höhe dünneren Luft die Anzahl Sauerstoffmoleküle pro Volumeneinheit in beiden Fällen gleich gross ist.

### Einsatzgebiete

Der entscheidende Vorteil der Sauerstoffreduktion für Betreiber ist ohne Zweifel, dass ein Brandrisiko ausgeschlossen werden kann. Aber nicht nur ein Brand, sondern auch die Schäden, die durch starke Rauchwirkung entstehen, können wirksam verhindert werden. Die Rahmenbedingungen, lassen so einen Einsatz dort sinnvoll erscheinen wo entweder eine hohe Wertkonzentration gelagert ist oder Einrichtungen vorhanden sind, deren dauerhafter Betrieb für eine Unternehmung

von hohem Wert ist. Die Schutzbereiche müssen relativ dicht sein, sie dürfen nicht nach aussen dauerhaft geöffnet sein oder permanent durch Publikumsverkehr begangen werden müssen. Schliesslich dürfen im Schutzbereich keine dauerhaften Arbeitsplätze eingerichtet werden.

Typische Anwendungen sind daher:

- Lager, Hochregallager
- Kleinladungsträger-Lager (KLT-Lager)
- Automatische KLT-Systeme mit freier Stapelung (Beispiel «Autostore-System»)
- Tiefkühlager
- EDV-Räume
- Archive (Daten, Schriftstücke und Kulturgüter)

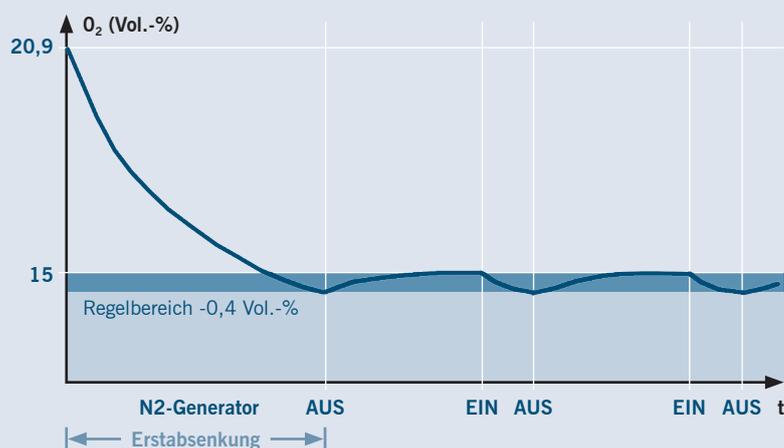
Sauerstoffreduktionsanlagen setzen sich insbesondere dort durch, wo ein Sprinklerschutz nur schwer realisierbar ist oder nicht effizient ist. Beispiele sind hier einerseits Tiefkühlager und andererseits KLT-Lager. Bei Tiefkühlagern ist ein Sprinklerschutz nur mit einer Trockenanlage möglich, eine Auslösung führt immer zu einem grossen Schaden durch Eisbildung. Hier hat sich die Sauerstoffreduktion als Alternative durchgesetzt, die auch im Merkblatt «Brandschutz in Tiefkühlager» des SVTKL dargelegt wird.

Bei KLT-Lagern mit freier Stapelung durch Robotertechnologie von oben ist ein Schutz durch Sprinkler nur eingeschränkt möglich, da Wasser nicht zu den Boxen und erst recht nicht zum Inhalt vordringen kann, weil die Boxen abstandsfrei gestapelt werden. Ein Beispiel für diese Lagertechnik sind die sogenannten «Autostore-Systeme».

### Effizienz der Sauerstoffreduktion

Der Bedarf an Stickstoff und somit die Grösse der Stickstoffversorgung eine Sauerstoffreduktionsanlage als auch die wiederkehrenden Kosten (Betriebs- und Wartungskosten) werden vom Verlust des Stickstoffs an die Aussenluft bestimmt. Für eine hohe Effizienz muss also der Austritt von sauerstoffreduzierter Luft in die Umgebung möglichst minimiert werden.

**Abbildung 2:**  
**Regelung der Sauerstoffkonzentration (Bsp. Betriebskonzentration 15 Vol.-%)**



Es gibt zwei massgebliche Faktoren, die hier beitragen  
a) Undichtigkeiten des Schutzbereiches  
b) Begehungen und Logistkbewegungen

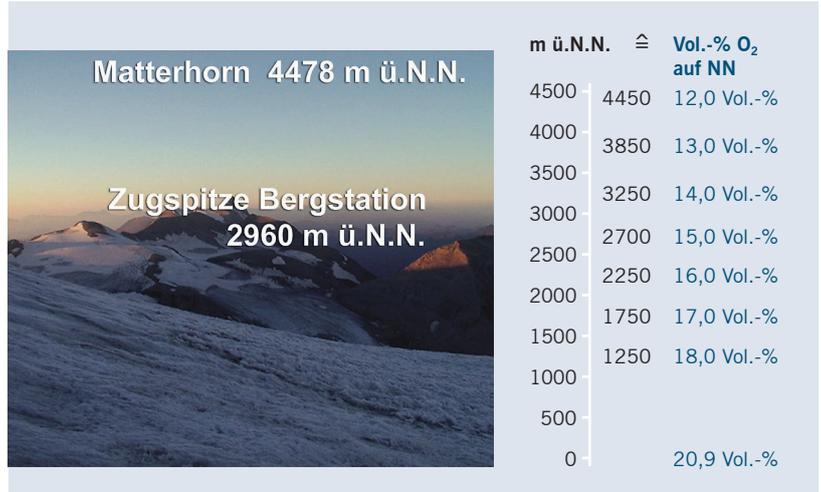
Undichtigkeiten der baulichen Struktur des Schutzbereiches sind weitestgehend zu vermeiden. Leckagen führen zwangsläufig zum Luftaustausch mit der Umgebung und zum Ansteigen der Sauerstoffkonzentration. Diese Verluste müssen durch die Anlage ausgeglichen werden.

Dabei zählen zu den Undichtigkeiten sowohl solche der festen Hülle (Mauerwerk, Decke, Fassadenübergänge) als auch Undichtigkeiten von Türen und Logistiktoren im geschlossenen Zustand (siehe **Abbildung 4**). Ferner sind Frischlufteinträge durch eine externe Belüftung nicht geeignet für einen effizienten Betrieb einer Sauerstoffreduktionsanlage, eine Klimatisierung sollte im Umluftverfahren erfolgen.

Grössere Leckagen können meist mit einfachen Mitteln abgedichtet werden. Der Blower Door Test ermöglicht es, die Leckagen zu ermitteln. Dazu wird anstelle einer Tür ein Rahmen, bespannt mit einer luftdichten Folie mit eingebautem Lüfter, eingesetzt. Durch gesteuerte Über- und Unterdruckmessungen können die Leckagen zuverlässig ermittelt werden (**Abbildung 5**). Mit dem Blower Door Test dient neben der Lokalisierung von Undichtigkeiten auch der Ermittlung des sogenannten n50-Werts des Schutzbereiches, dieser ist ein Mass für die Raumdichtigkeit.

Im Folgenden sollen einige quantitative Zahlen ein Gefühl für den Einfluss solcher Frischlufteinträge auf die Anlagengrösse und die resultierenden Betriebskosten einer Sauerstoffreduktionsanlage liefern. Auch soll ein Gefühl dafür vermittelt werden, welcher Aufwand zu welchen Einsparnissen führen kann.

Hierzu wird beispielhaft ein automatisches Lager mit einem Volumen von 50'000 m<sup>3</sup> bei angesetzt. Es werden zwei Betriebskonzentrationen betrachtet. Einmal 15,5 Vol-% Restsauerstoff, die typisch für ein Tiefkühl-lager sind und einmal 14,0 Vol-%, wie sie in einem automatischen Hochregallager vorkommen können. Die Werte sind exemplarisch, real richten sie sich nach den



**Abbildung 3:**  
Vergleich zwischen Restsauerstoff und Höhenlage

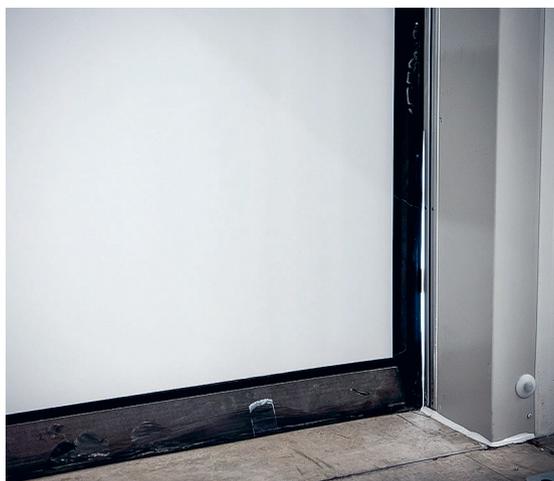
gelagerten Stoffen im Lager. Es wird ferner angenommen, dass zur Sauerstoffreduzierung Stickstoff mit 5 % Rest-Sauerstoffanteil genutzt wird, wie er typisch ist bei einer lokalen Produktion mit Membranen, PSA oder VPSA.

Die Werte in «Effizienz – der Einfluss der Undichtigkeit» und «Effizienz – der Einfluss der Logistik» sind exemplarisch zu verstehen und dienen keinesfalls zur Auslegung konkreter Beispiele. Nicht berücksichtigt sind tatsächliche Lagergüter, Windsituation der Gebäudehülle, Anzahl Aussenwände oder Anordnung der Logistiköffnungen. Diese Einflüsse müssen projektspezifisch bewertet und berechnet werden.

### Effizienz – der Einfluss der Undichtigkeit

Abbildung 3 zeigt den Einfluss der Undichtigkeit auf den Bedarf an Stickstoff (5 % Rest-Sauerstoff). Es werden n50-Werte zwischen 0,02 und 0,2 untersucht. Bei den angesetzten 50'000 m<sup>3</sup>, sind hierbei 0,05 ein durchschnittlicher Wert für ein Neubaulager – 0,2 trifft man eher bei Altbaulagern an, die nicht unter Berücksichtigung der Dichtigkeit errichtet worden sind.

Diese Werte zeigen nur den Bedarf zur Kompensation von Undichtigkeiten der Gebäudehülle auf. Der Wert berücksichtigt keinerlei Tor- und Türöffnungen für Logistik oder Begehung (siehe nächster Abschnitt «Effizienz – der Einfluss der Logistik»).



**Abbildung 4 (links):**  
Beispiel für ein undichtes Tor (Seitenschlitz)

**Abbildung 5 (rechts):**  
Blower Door Test

n50-Wert	Bedarf (m <sup>3</sup> /h) für 15,5 Vol-% O <sub>2</sub> -Konzentration	Bedarf (m <sup>3</sup> /h) für 14,0 Vol-% O <sub>2</sub> -Konzentration
0,02	36,0	53,6
0,05	90,0	134,0
0,10	180,0	268,0
0,15	270,0	402,0
0,20	360,0	536,0

**Tabelle 3:**  
Bedarf an Stickstoff  
für 50'000 m<sup>3</sup> Lager  
(Annahme: Stickstoff  
mit 95 % Reinheit)

Es zeigt sich, dass ein dichtes Lager (n50 = 0,05) etwa nur  $\frac{1}{4}$  der Versorgungsmenge eines undichten benötigt. Das Einsparpotential liegt bei Abdichtung der Gebäudehülle und der Türen und Tore also bei bis zu 75 %.

#### Effizienz – der Einfluss der Logistik

Einen weiteren wesentlichen Beitrag zum Frischlufteintrag liefern die Öffnungen von Toren für Logistikbewegungen. Die Tabellen 4 und 5 schätzen auch diesen für die im vorherigen Abschnitt genannten Fälle für die Typen für Logistiköffnungen ab:

- Schnelllauf Tore
- Schnelllauf Tore mit Lamellenvorhang oder Luftschleier
- Beschickungsschleusen (bestehend aus zwei Schnelllauf Toren, von denen immer eines geschlossen ist)

**Abbildung 6:**  
Beschickungsschleuse



Es wird dabei angenommen, dass 100 Logistikbewegungen pro Stunde maximal im Lager vorkommen. **Abbildung 6** zeigt beispielhaft eine Beschickungsschleuse.

Der Einfluss der Anzahl maximaler Logistikbewegungen ist linear.

Während die Anzahl Toröffnungen meist durch die Logistikanforderungen gegeben sind und im Projekt bestenfalls hinsichtlich der Verteilung von Spitzenleistungen beeinflusst werden kann, gibt es bei den anderen relevanten Größen (Torgröße und Toröffnungsdauer) Planungs- und Optimierungspotential in einem Projekt.

Hier sind durch die Wahl des Typs der Beschickungsöffnung, der Größe und der Geschwindigkeit des Beschickungsvorgangs ebenfalls deutliche Reduktionen des Stickstoffbedarfs zu erreichen wie obige Darstellungen zeigen.

Bei gleicher Konzentration und Beschickungshäufigkeit, kann beispielsweise eine Schleuse mit 2 m<sup>2</sup> und 10 Sekunden Toröffnungszeit gegenüber einem einfachen Schnelllauftor mit 4 m<sup>2</sup> und 15 Sekunden Öffnungsdauer eine Einsparung von 85 % Stickstoffbedarf bedeuten. Grundsätzlich möglich ist es auch Öffnungen bei sehr hohen Beschickungsfrequenzen permanent offen zu halten und nur mit Schnelllauf Toren in Beschickungspausen zu schliessen. Aufgrund der permanenten Öffnungen ist der Stickstoffbedarf hier allerdings deutlich erhöht und muss durch die Nutzung von Tunnel-Einhausungen, Luftschleiern oder Lamellen kompensiert werden. Dies kann nur individuell berechnet werden, besonderer Wert muss aber auf einen möglichst kleinen Öffnungsquerschnitt gelegt werden, ideal unterhalb von 2 m<sup>2</sup>. Eine Optimierung der Torgröße kann ferner zusätzlich dadurch erreicht werden, dass Tore bei Paletten nicht vollständig öffnen, sondern nur bis zur Ladungshöhe. Die Anzahl der geplanten Toröffnungen, also die Anzahl der geplanten maximalen Logistikbewegungen pro Stunde sollte nicht zu tief angesetzt werden, um nicht bei späterer Kapazitätserhöhung im Betrieb in Schwierigkeiten aufgrund einer unzureichenden Stickstoffversorgung zu laufen. Andererseits sollte sie sich mitunter nicht am möglichen Logistikmaximum orientieren, wenn abzusehen ist, dass dies real nie genutzt wird. Eine überdimensionierte Versorgung ist nicht kosteneffizient – weder bei Investition noch im Betrieb.

Die Bedarfswerte aus «Effizienz – der Einfluss der Undichtigkeit» und «Effizienz – der Einfluss der Logistik» addieren sich zum Gesamtbedarf.

Schnellauftore mit Lamellen oder geeignetem Luftschleier – maximal 100 Logistikbewegungen pro Stunde

Toröffnungsfläche (m <sup>2</sup> )	2 m <sup>2</sup>		4 m <sup>2</sup>		6 m <sup>2</sup>	
	Bedarf (m <sup>3</sup> /h) für		Bedarf (m <sup>3</sup> /h) für		Bedarf (m <sup>3</sup> /h) für	
Toröffnungsfläche (sec)	15,5 Vol.-%	14,0 Vol.-%	15,5 Vol.-%	14,0 Vol.-%	15,5 Vol.-%	14,0 Vol.-%
7	57,6	85,9	115,2	171,7	172,8	257,6
10	82,3	122,7	164,6	245,3	246,9	368,0
15	123,4	184,0	246,9	368,0	370,3	552,0
20	164,6	245,3	329,1	490,7	493,7	736,0

**Tabelle 4:**  
Bedarf an Stickstoff für 50'000 m<sup>3</sup> Lager (Annahme: Stickstoff mit 95 % Reinheit)

Vergleich Tortypen bei 4 m<sup>2</sup> – maximal 100 Logistikbewegungen pro Stunde

Tortyp	Schnellauftor (einfach)		Schnellauftor mit Lamellen/Luftvorhang		Beschickungsschleuse (2 Tore)	
	Bedarf (m <sup>3</sup> /h) für		Bedarf (m <sup>3</sup> /h) für		Bedarf (m <sup>3</sup> /h) für	
Toröffnungsdauer (sec) bei 4 m <sup>2</sup>	15,5 Vol.-%	14,0 Vol.-%	15,5 Vol.-%	14,0 Vol.-%	15,5 Vol.-%	14,0 Vol.-%
7	201,6	300,5	115,2	171,7	93,0	138,6
10	288,0	429,3	164,6	245,3	132,8	198,0
15	432,0	644,0	246,9	368,0	199,3	297,1
20	576,0	858,6	329,1	490,7	265,7	396,1

**Tabelle 5:**  
Bedarf an Stickstoff für 50'000 m<sup>3</sup> Lager (Annahme: Stickstoff mit 95 % Reinheit)

Technik	Menge (95 % Reinheit)	Strombedarf/Kosten
<b>N2-Versorgung aus Vorratstank</b>	ca. 200 m <sup>3</sup> /h (100 % Reinheit)	30 bis 45 CHF pro Stunde
<b>Membran</b>	240 m <sup>3</sup> /h	90 kWh
<b>PSA</b> (Pressure Swing Adsorption – Druckwechselabsorption)	240 m <sup>3</sup> /h	70 kWh
<b>VPSA</b> (Vacuum Pressure Swing Adsorption – Vakuum-Druckwechselabsorption)	240 m <sup>3</sup> /h	38 kWh

**Tabelle 6:**  
Strombedarf der verschiedenen möglichen Stickstoff-Erzeugungsmethoden

Bei der Bewertung der Investitionen zur Erreichung dieser Optimierung der Sauerstoffreduzierungsanlage ist zu berücksichtigen, dass die wiederkehrenden Kosten der Sauerstoffreduktion zum grössten Teil (oft ca. 90 %) aus dem Strombedarf bestehen. Hierzu gibt der nächste Abschnitt einen Überblick über den Strombedarf der verschiedenen möglichen Stickstoff-Erzeugungsmethoden.

### Effizienz – Abhängigkeit von der Stickstoffherzeugung

Tabelle 6 zeigt den Strombedarf beziehungsweise die Verbrauchskosten der verschiedenen Möglichkeiten der Stickstoffherzeugung (siehe «Aufbau eines Sauerstoffreduktionssystems»). Die Angaben der Tabelle beziehen sich auf die Erzeugung von 240 m<sup>3</sup>/h Stickstoff mit 5 % Restsauerstoffgehalt.

Auch hier zeigt sich ein Sparpotential von über 50 % durch die Wahl der Stickstoffherzeugungstechnik.

Zu berücksichtigen ist hierbei allerdings, dass aber nur die Varianten Membran und PSA zum jetzigen Zeitpunkt eine Wärmerückgewinnung der Kompressorleistung erlauben (bis zu 70 % Wärmerückgewinnung) und

damit dann attraktiver sein können als VPSA, wenn die Energie einer Wärmerückgewinnung im Projekt effizient genutzt werden kann.

### Zusammenfassung

Sauerstoffreduzierungsanlagen zur Brandvermeidung haben sich als neue Disziplin im Brandschutz in den letzten 15 Jahren etabliert. Am Schweizer Markt wird die Technologie hauptsächlich für automatische Lagersysteme wie Hochregallager, Tiefkühlager und Kleinteilelager genutzt. Die Energieeffizienz von Sauerstoffreduzierungsanlagen gerade bei Lageranwendungen ist wesentlich beeinflusst von baulicher Ausführung des Lagers, der Logistikausführung und der Wahl der Stickstoffherzeugung. Eine Optimierung hinsichtlich eines geringen Energiebedarfs kann zu massiven Einsparungen im Betrieb führen.

### Literaturverzeichnis

- SUVA-Merkblatt, *Arbeiten in sauerstoffreduzierter Atmosphäre*, (2011)
- Handbuch der Arbeitsmedizin*, S. Letzel, D. Nowak, ecomed MEDIZIN, Verlag Hühig Jehle Rehm, 3. Auflage (2007)

PROFITIEREN  
SIE VOM  
EINZIG-  
ARTIGEN  
NETZWERK.

WERDEN  
SIE JETZT  
MITGLIED.

Der Mitgliedsbeitrag ist erstmals sofort und dann jährlich zu Jahresbeginn fällig. Eine Kündigung der Mitgliedschaft ist jederzeit möglich. Nach Kündigung erlischt die Mitgliedschaft am Jahresletzten.

\* Gültig für Absolventen von Hochschulen (ab Bachelor Graduierung für die Dauer von einem Jahr)

\*\* Bis zwei Jahre nach Gründung

## ANTRAG

Hiermit beantrage/n ich/wir, dem Verein Netzwerk Logistik Schweiz als ordentliches Mitglied beizutreten.

Die Statuten habe/n ich/wir zur Kenntnis genommen.

### Mitgliedskategorien/ -beiträge

- |   |           |
|---|-----------|
| <input type="checkbox"/> Grossunternehmen (> 250 Mitarbeitende)                   | CHF 2 000 |
| <input type="checkbox"/> KMU (50 bis 250 Mitarbeitende)                           | CHF 1 000 |
| <input type="checkbox"/> Privatpersonen und Kleinunternehmen (< 50 Mitarbeitende) | CHF 500   |
| <input type="checkbox"/> Studenten* & Start-up**                                  | CHF 50    |
| <input type="checkbox"/> Vereine/Verbände   | kostenlos |

Firma (wie im Handelsregister)

Ansprechpartner

Position

oberes Management       mittleres Management       MitarbeiterIn

Funktion

Firmenanschrift

Rechnungsadresse (falls von Firmenanschrift abweichend)

Telefon

Fax

E-Mail

### Branche

- |   |  |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> Logistik-Bedarfsträger                 | <input type="checkbox"/> Logistik-Technik-Anbieter                         |
| <input type="checkbox"/> Beratung und IT                        | <input type="checkbox"/> Integrierte Logistik-Anbieter                     |
| <input type="checkbox"/> Bildungs- und<br>Forschungseinrichtung | <input type="checkbox"/> Transport-, Umschlag-,<br>Lager-Logistik-Anbieter |

### Fachbereiche

- |  |                                     |
|--|-------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Distribution            | <input type="checkbox"/> Einkauf    |
| <input type="checkbox"/> Marketing/Vertrieb      | <input type="checkbox"/> Produktion |
| <input type="checkbox"/> Forschung & Entwicklung |                                     |

Datum

Firmenstempel/ Unterschrift



VEREIN  
NETZWERK  
LOGISTIK

Bitte senden Sie die Beitrittserklärung an:

[office@vni.ch](mailto:office@vni.ch)

oder

Verein Netzwerk Logistik Schweiz e.V.  
Technoparkstrasse 1, 8005 Zürich

# VNL SCHWEIZ: AKTIV FÜR INNOVATIVE LOGISTIK

Stand Dezember 2020



Mit Unterstützung von

- Schweizerische Eidgenossenschaft
- Confédération suisse
- Confederazione Svizzera
- Confederaziun svizra

Innosuisse – Schweizerische Agentur für Innovationsförderung