



Carbon Management

Entwicklung von Instrumenten zur Erarbeitung, Dokumentation und Umsetzung des produktlebenszyklusorientierten Carbon Accounting, Carbon Planning und Carbon Controlling (Carbon Management) in der Druckluftfilterbranche

Vorschläge für die Erstellung der Product Category Rules gemäß Typ III Umweltdeklarationen für Druckluftfilter

Gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages.



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Impressum

IPRI International Performance Research Institute gGmbH

gemeinnützige GmbH

Sebastian Kasselmann, M.Sc.

Dieser Leitfaden entstand im Rahmen des Projektes „Carbon Management“. Das IGF-Vorhaben 17992 N / 1 der Forschungsvereinigung Institut für Energie- und Umwelttechnik e.V. - IUTA, Bliersheimer Straße 60, 47229 Duisburg wurde über die AIF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Vorschläge für die Erstellung der Product Category Rules gemäß Typ III Umweltdeklarationen für Druckluftfilter

In den verschiedenen europäischen Ländern existieren unterschiedliche Umweltzeichen und -labels. Die Deklarationen enthalten z.B. ökobilanzierte Indikatoren u.a. zum Treibhauseffekt, zur Ressourcennutzung und zu jeweils spezifischen toxischen Wirkungen auf Menschen und Ökosysteme. Die Kennzeichnung wird in drei Stufen umgesetzt (Typ I, Typ II und Typ III).

Umweltzeichen Typ I (nach ISO 14024)

Die Umweltkennzeichnung vom Typ I besteht aus einem Zeichen oder Logo, mit der besondere Umweltleistungen ausgezeichnet werden. Bekannte Beispiele sind der „Blaue Engel“ oder das „natureplus“-Zeichen.¹

Umweltzeichen Typ II (nach ISO 14021)

Die Deklaration von Umweltkennzeichen nach dem Typ II sind in der ISO 14021 - Umweltbezogene Anbietererklärungen - festgelegt. Der Hersteller des Produkts ist für seine Umweltdeklaration selbst verantwortlich und kann sie zur Unterstreichung der Glaubwürdigkeit unabhängig überprüfen lassen.²

Umweltzeichen Typ III (nach ISO 14025)

Die Umweltdeklaration Typ III ist eine umfassende Beschreibung der Umweltleistung ohne Wertung. Sie basiert auf der Ökobilanz ISO 14040, in der alle Stoffströme von der Rohstoffgewinnung bis zur Entsorgung systematisch erfasst werden. Die Umweltauswirkungen werden nach international anerkannten Konventionen charakterisiert, das Ergebnis sind Kennzahlen, z.B. der Treibhauseffekt in CO₂ bzw. ein äquivalentes, branchenspezifisches Maß für den Energiebedarf, als Basis für eine CO₂ Bilanz.³

Innerhalb des Vorhabens steht die Erstellung einer Umweltdeklaration Typ III für Druckluftfilter im Vordergrund, wobei naturgemäß die produktspezifischen Eigenschaften zu berücksichtigen sind, in Absprache mit den Industriepartnern, aber auch eine Gewichtung der für die CO₂-Bilanz wesentlichen Phasen realisiert werden soll. In der zugehörigen Norm ISO 14025 ist vermerkt: „Typ III Umweltdeklarationen stellen quantifizierte umweltbezogene Informationen aus dem Lebensweg eines Produkts zur Verfügung, um damit Vergleiche zwischen Produkten gleicher Funktion zu ermöglichen.“⁴ Sowie „Typ III Umweltdeklarationen sind in erster Linie für den Informationsaustausch innerhalb der anbietenden Wirtschaft gedacht, wobei ihre Anwendung für den Informationsaustausch zwischen anbietender Wirtschaft und Verbrauchern nicht ausgeschlossen sein soll.“⁵

Ein wesentlicher Teil der Umweltdeklaration Typ III sind die Product Category Rules (PCR) bzw. die Produktkategorieeregeln (PKR). Product Category Rules definieren die Grundsätze für Umweltdeklarationen durch die Festlegung der Bewertungsgrundlage als Abgrenzung für einen

¹ Vgl. Norm DIN EN ISO 14024:2001

² Vgl. Norm DIN EN ISO 14021

³ Vgl. Norm DIN EN ISO 14025:2011

⁴ Norm DIN EN ISO 14025:2011

⁵ Norm DIN EN ISO 14025:2011

ökologischen Vergleich von Produkten. Für eine einheitliche Erfassung, Analyse und der anschließenden ökologischen Bewertung ist eine höchstmögliche Transparenz des Bewertungsverfahrens von Umweltauswirkungen der untersuchten Produkte anzustreben. Diese Vereinheitlichung gelingt durch die strikte Definition und Anwendung der Product Category Rules für die betrachtete Produktgruppe.

Nachstehend der erarbeitete Vorschlag für eine Gliederung der PCR in Bezug auf Druckluftfilter. Bei der Erarbeitung wurde ein Vorschlag taiwanesischer Kollegen in Bezug auf Wasserfilter aufgegriffen, angepasst und erweitert:⁶

- Allgemeine Informationen
- Firmen- und Produktbeschreibung
 - Produktgruppenbeschreibung
 - Komponenten des Produkts
 - Technische Beschreibung
- Liste der Materialien und verarbeiteten chemischen Substanzen
- Deklaration der betrachteten Einheit
- Systemgrenzen
- Abgrenzungsregeln
- Verteilungsregeln
- Einheiten
- Berechnungsregeln und Anforderungen an die Datenqualität
- Deklarierte Parameter
- Informationen zum Recycling
- Weitere Informationen

Nach Informationen aus der Industrie (Teilnehmer des projektbegleitenden Ausschusses) ist bei Druckluftfiltern der weitaus größte Anteil (> 80%) der CO₂-Bilanzierung mit der direkten Anwendung (Betriebsphase), also nach der Installation beim Kunden (Druckluftfilteranwender) und vor dem Austausch der Filter nach vorgegebenen Wartungsintervallen, verbunden. Aus diesem Grunde wird innerhalb des Forschungsvorhabens zwar die Deklaration Typ III als Ganzes beschrieben (s.o.), jedoch die Nutzungsphase des Produktes in den Vordergrund gestellt. Es soll ein Werkzeug entwickelt und zur Verfügung gestellt werden, mit dem ein möglichst objektiver Vergleich der CO₂-Bilanz von verschiedenen Druckluftfilter während der Nutzungsphase realisiert werden kann, wobei dem Energiebedarf die entscheidende Bedeutung zukommt.

⁶ Vgl. <http://www.edf.org.tw/>

Carbon Management

Entwicklung von Instrumenten zur Erarbeitung, Dokumentation und Umsetzung des produktlebenszyklusorientierten Carbon Accounting, Carbon Planning und Carbon Controlling (Carbon Management) in der Druckluftfilterbranche

Vorschläge für um CO₂-Emissionen erweiterte Produktinformationsblätter

Gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages.



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Impressum

IPRI International Performance Research Institute gGmbH
gemeinnützige GmbH
Sebastian Kasselman, M.Sc.

Produktinformationsblatt



Filtertyp: Koaleszenzfilter

Bezugsjahr: 2015

Marke: Mustermann GmbH

Modell: Mustermannmodell

Material: Gehäuse aus eloxiertem, seewasserbeständigen
Aluminium Filtermedium aus bindemittelfreien
Borsilikat- und Polyesterfasern

Testparameter:

Nennvolumenstrom: 150 m³/h

Nenndruck: 7 bar

Temperatur: 20 °C

relative Feuchte: 3 %

Testkonzentration: 10 mg/m³

Testsubstanz: Öl, Viskositätsklasse 46

Testresultat:

Mindestabscheidegrad:

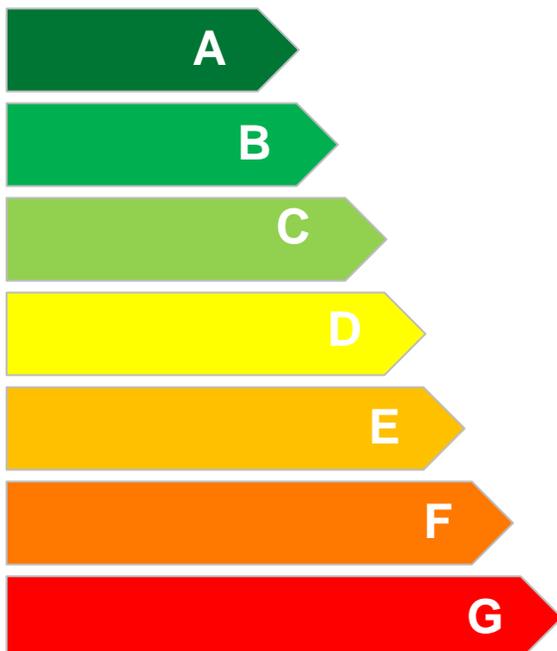
99,9 %

Klasse 4

Druckverlust gesättigt:

120 mbar

CO₂-Effizienzklasse



Druckverlust 120 mbar

Produktinformationsblatt



Filtertyp: Adsorptionsfilter

Bezugsjahr: 2015

Marke: Mustermann GmbH

Modell: Mustermannmodell

Material: Gehäuse aus eloxiertem, seewasserbeständigen Aluminium
Filtermedium aus Aktivkohle

Testparameter:

Nennvolumenstrom: 150 m³/h

Nenndruck: 7 bar

Temperatur: 20 °C

relative Feuchte: 3 %

Testkonzentration: 10 ppm

Testsubstanz: n-Hexan

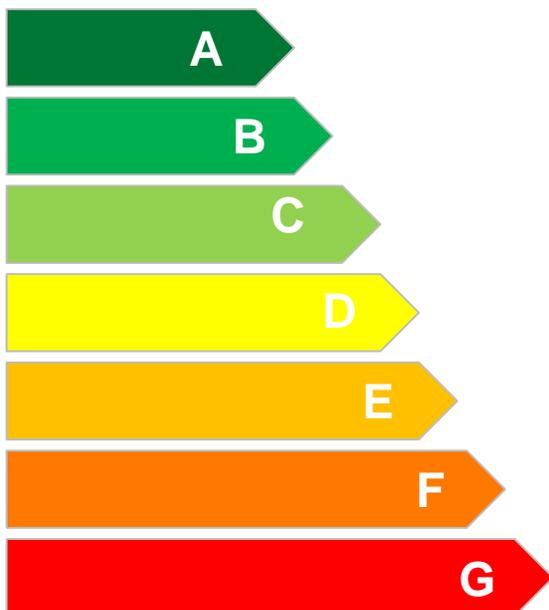
Testresultat:

Beladungskapazität K80: 15 % Klasse 2

Sofortdurchbruch: 2 %

Druckverlust: 80 mbar

CO₂-Effizienzklasse



Druckverlust 80 mbar

Produktinformationsblatt



Filtertyp: Partikelfilter

Bezugsjahr: 2015

Marke: Mustermann GmbH

Modell: Mustermannmodell

Material: Gehäuse aus eloxiertem, seewasserbeständigen Aluminium Filtermedium aus bindemittelfreien Borsilikat- und Polyesterfasern

Testparameter:

Nennvolumenstrom: 150 m³/h

Nenndruck: 7 bar

Temperatur: 20 °C

relative Feuchte: 3 %

Testkonzentration: 100 mg/m³

Testsubstanz: AC fine

Testresultat:

Mindestabscheidegrad trocken (0,4 µm): 99,9 % Klasse 4

Standzeit bis 100% Druckanstieg: 600 s

Druckverlust trocken: 120 mbar

CO₂-Effizienzklasse



Druckverlust 120 mbar



Carbon Management

Entwicklung von Instrumenten zur Erarbeitung, Dokumentation und Umsetzung des produktlebenszyklusorientierten Carbon Accounting, Carbon Planning und Carbon Controlling (Carbon Management) in der Druckluftfilterbranche

Leitfaden zum Benchmarking

Gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages.



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Impressum

IPRI International Performance Research Institute gGmbH

gemeinnützige GmbH

Sebastian Kasselmann, M.Sc.

Dieser Leitfaden entstand im Rahmen des Projektes „Carbon Management“. Das IGF-Vorhaben 17992 N / 1 der Forschungsvereinigung Institut für Energie- und Umwelttechnik e.V. - IUTA, Bliersheimer Straße 60, 47229 Duisburg wurde über die AIF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Grundlagen zum ökonomischen und ökologischen Produktvergleich

Ein geeignetes Instrument zum ökonomischen und ökologischen Produktvergleich stellt das Benchmarking dar. Dieses Planungsinstrument besteht aus einem kontinuierlichen Prozess, in dem Produkte, Dienstleistungen, Prozesse sowie Methoden betrieblicher Funktionen über mehrere Unternehmen verglichen werden. Der Leistungsvergleich über die Grenzen des eigenen Unternehmens hinaus dient der Verankerung der Wettbewerbsorientierung im Unternehmen, beispielsweise durch die Ableitung von an der Konkurrenz orientierten Zielvorgaben.^{1,2}

Weber und Wertz beschreiben das Benchmarking als „methodisches Konzept zur Analyse der eigenen Situation und Ermittlung von Veränderungsprozessen als auch [als] Instrument zur Umsetzung von Verbesserungsmaßnahmen“³.

Im Unterschied zur Konkurrenzanalyse geht beim Benchmarking die Analyse über die reine Identifikation der Leistungslücken hinaus. Wesentlich ist beim Benchmarking, dass die Ursachen der Leistungslücken ermittelt und daraus Möglichkeiten zur Verbesserung der eigenen Unternehmensposition abgeleitet werden können.^{4,5}

Geplante Ergebnisse lt. Antrag	Erzielte Ergebnisse
1. Leitfaden zum Benchmarking	1. Leitfaden zum Benchmarking
2. Demonstrator zur Unterstützung des Benchmarking	2. Demonstrator zur Unterstützung des Benchmarking

Vorgehensweise zur Erstellung des Leitfadens und des unterstützenden Demonstrators:

- Literaturrecherche für geeigneten Benchmarking-Prozess
 - ➔ bestgeeignest Horváth und Herter, daran orientiert:
 - ➔ Benchmarking unterteilt in 3 Phasen: 1) Vorbereitung 2) Analyse 3) Umsetzung
- Bei Entwicklung des Demonstrators Übernahme der einzelnen Prozessstufen im Aufbau

Leitfaden zum Benchmarking

Dieser Leitfaden gibt eine Anleitung zum Benchmarking von Druckluftfiltern hinsichtlich ihrer CO₂-Emissionen in der Betriebsphase unter Anwendung des entwickelten Demonstrators. Der Demonstrator dient dabei als unterstützendes Tool an bestimmten Prozessstufen des Benchmarkings, jedoch nicht als Benchmarkdatenbank.

Die Gliederung des Leitfadens ist am prozessualen Aufbau des Benchmarkings nach Horváth und Herter orientiert (siehe Abbildung 5).⁶

¹ Vgl. Horváth und Herter 1992

² Vgl. Harrington 1991, S.219

³ Weber und Wertz, S.38

⁴ Vgl. Horváth und Herter 1992

⁵ Vgl. Puschmann 2000, S.20

⁶ Vgl. Horváth und Herter 1992



Abbildung 1: Prozessualer Aufbau des Benchmarkings in drei Phasen

Für jede Phase werden dabei zuerst Aspekte des Benchmarkings im Allgemeinen und in der Druckluftfilterbranche erläutert und anschließend das konkrete Vorgehen im Anwendungsfall mithilfe des Demonstrators beschrieben.

Phase 1: Vorbereitung

Die Vorbereitung des Benchmarks unterteilt sich in vier Unterpunkte: die Definition des Gegenstand des Benchmarkings, der Festlegung der Leistungsbeurteilungsgröße, der Wahl der Vergleichsunternehmen sowie der möglichen Informationsquellen.⁷

Der Gegenstand des Benchmarkings kann ein bestimmtes Produkt, eine Dienstleistung, ein Prozess sowie eine betriebliche Methode sein. Im Rahmen dieses Projekts stellen Druckluftfilter das Objekt des Benchmarkings dar. Zur Beurteilung der mit der Produktfunktion korrelierenden Leistungseigenschaft der Druckluftfilter muss des Weiteren eine Unterteilung in die Druckluftfiltertypen Partikelfilter, Koaleszenzfilter und Adsorptionsfilter vorgenommen werden.

Im nächsten Schritt erfolgt die Definition der relevanten Leistungsbeurteilungsgröße als zentrale Vergleichsgröße im Benchmarking-Prozess. Als Leistungsbeurteilungsgröße dient in Anlehnung an die entwickelten Produktinformationsblätter in AP 1 der Druckverlust der Filter. Der Vergleich des Druckverlusts erlaubt die unterschiedlichen Druckluftfilter hinsichtlich ihrer CO₂-Emissionen in der Betriebsphase zu bewerten. Da jedoch der Druckverlust in direktem Zusammenhang mit der Filterklasse steht, muss auch hier zur Wahrung eines objektiven Vergleichs zweier Druckluftfilter eine Separation in die unterschiedlichen Filterklassen stattfinden. Die Unterteilung der unterschiedlichen Druckluftfilterklassen ist in Anlehnung an die ISO-Reihe 12500 (Herstellernorm) gestaltet. Diese Norm beinhaltet die Anforderungen der Beurteilung und Prüfung der Filtereigenschaften, sowie die Definition der Grenzwerte zur Klasseneinteilung.⁸

Nach der Festlegung der Leistungsbeurteilungsgröße erfolgt die Wahl der gewünschten Vergleichsunternehmen. Unterschieden werden kann bei den Vergleichsunternehmen zwischen den Formen des externen Benchmarkings und dem internen Benchmarking. Das externe Benchmarking kennzeichnet den Vergleich zwischen Unternehmen der gleichen Branche (wettbewerbsorientiertes Benchmarking) und einer anderen Branche (branchenunabhängiges Benchmarking).⁹

⁷ Vgl. Horváth und Herter 1992

⁸ Vgl. Norm ISO 12500

⁹ Vgl. Karlöf und Östblom 1994, S.65

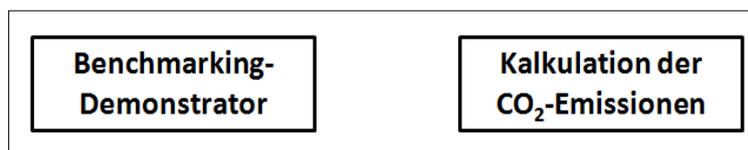
Für die Durchführung eines Produkt-Benchmarkings, wie in diesem Fall, empfiehlt sich ausschließlich der Vergleich mit Konkurrenzunternehmen einer Branche, da eine große Ähnlichkeit der Produkte vorliegen muss. Liegt der Gegenstand des Benchmarkings auf Prozesse und Methoden, die auch in branchenfremden Unternehmen praktiziert werden, so können oftmals auch große Verbesserungspotentiale durch den Vergleich mit Nicht-Konkurrenten aufgedeckt werden.¹⁰ Zudem besteht auch die Möglichkeit ein internes Benchmarking durchzuführen. Das interne Benchmarking steht für den Vergleich von Abteilungen, Niederlassungen oder Profit Center innerhalb eines Unternehmens oder Konzerns.^{11,12}

Im Rahmen der Festlegung der Vergleichsunternehmen muss auch entschieden werden welche Art von Benchmark für die zugrundeliegende Zielsetzung als geeignet erscheint. Nach der Definition von Mertens stellt der Benchmark einen „Referenzpunkt in Form einer gemessenen Bestleistung“¹³ dar. Diese Art von Benchmark wird im vorgestellten Leitfaden als konkurrenzbezogenes Benchmark bezeichnet. Neben dem konkurrenzbezogenen Benchmark steht auch das branchenbezogene Benchmark, als Vergleichswert mit dem Branchendurchschnitt, zur Verfügung. Besteht die Motivation des Benchmarkings in der Einnahme der Branchenführerschaft in einem gewissen Bereich, so muss die eigene Unternehmung mit dem Branchenbesten in den Vergleich gesetzt und damit das konkurrenzbezogene Benchmark gewählt werden. Genügt die Einordnung der eigenen Leistung in einem gewissen Geschäftsbereich mit dem Durchschnitt der Branche, so eignet sich der branchenbezogene Benchmark.

In der letzten Stufe der Benchmarking-Vorbereitung werden die geeigneten Informationsquellen identifiziert. Unterschieden werden kann in Primär- und Sekundärinformationen.¹⁴ Primärinformationen stammen beispielsweise aus Betriebsbesichtigungen und stehen meist nur im Vergleich zu branchenfremden Unternehmen zur Verfügung. Erfolgt das Benchmarking hingegen branchenintern, kann meist nur auf Sekundärinformationen der Konkurrenten, beispielsweise auf Produktdatenblätter oder Homepageinformationen, zurückgegriffen werden.

Zur Verdeutlichung des Vorgehens der 1. Phase des Benchmarkings unter Zuhilfenahme des Demonstrators soll das Verbesserungspotential eines Koaleszenzfilters mit einem Abscheidegrad von 92 % und einem Druckverlust im nassen und gesättigten Zustand von 180 mbar gegenüber dem Branchenbesten ermittelt werden.

Nach dem Öffnen der Excel-Datei erscheint der im Screenshot 1 dargestellte Eingangsbildschirm. Ein Klick auf den Button „Benchmarking-Demonstrator“ führt zum Screenshot 2.



Screenshot 1: Eingangsbildschirm

Im Screenshot 2 sind alle Produktdaten und Angaben zu tätigen, die den Rahmen des Benchmarkings festlegen. Zuerst muss der Filtertyp gewählt werden (1.). Hier wird zwischen

¹⁰ Vgl. Puschmann 2000, S.11

¹¹ Vgl. Karlöf und Östblom 1994, S.65

¹² Vgl. Spendolini 1992, S.17

¹³ Mertens 2009, S.22

¹⁴ Vgl. Horváth und Herter 1992

Partikel-, Koaleszenz- und Adsorptionsfilter unterschieden. Nach der Wahl des Filtertyps (hier: Koaleszenzfilter) wird die Eingabe der Filterklasse benötigt (2.). Zur Erleichterung der Identifikation der jeweiligen Filterklasse ist der Mindestabscheidegrad [%] für Koaleszenz- und Partikelfilter bzw. die Beladungskapazität K80 [%] für Adsorptionsfilter angegeben. Der Mindestabscheidegrad bzw. die Beladungskapazität K80 ändert sich je nach Wahl des Filtertyps automatisch. In diesem Anwendungsfall bedeutet daher ein Abscheidegrad von 92 % die Zugehörigkeit zur Filterklasse 3 (Klasse 3: 99 % > Abscheidegrad \geq 90 %). Im 3. Schritt wird der Druckverlust in mbar eingegeben (180 mbar). Wichtig für die Vergleichbarkeit der Eingaben ist, dass der Druckverlust dem im angegebenen Zustand (fett hinterlegt) entspricht. Der geforderte Zustand ändert sich ebenfalls automatisch mit der Wahl des Filtertyps. Im letzten Schritt der Vorbereitung des Benchmarkings wird der gewünschte Benchmark gewählt (4.). Hierbei besteht die Möglichkeit des konkurrenzbezogenen Benchmarks, des branchenbezogenen Benchmarks sowie eines eigenen Benchmarks. Zum Vergleich mit dem Branchenbesten ist der konkurrenzbezogene Benchmark zu wählen.

Durch den Button „Analyse“ gelangt man nach der Dateneingabe zur nächsten Phase des Benchmarkings, der Button „zurück“ führt wieder auf den Eingangsbildschirm.

Phase 1: Vorbereitung des Benchmarkings

Filtertyp

Partikelfilter	<input type="radio"/>	1.
Koaleszenzfilter	<input checked="" type="radio"/>	
Absorptionsfilter	<input type="radio"/>	

Filterklasse

Klasse	Abscheidegrad (min.) [%]	
1	99,9	<input type="radio"/>
2	99	<input type="radio"/>
3	90	<input checked="" type="radio"/>
4	50	<input type="radio"/>
5	<50	<input type="radio"/>

2.

Leistungsbeurteilungsgröße

Angabe des Druckverlust im **nassen, gesättigten Zustand**

Druckverlust mbar 3.

Wahl des Benchmarks

konkurrenzbezogenes Benchmark	<input checked="" type="radio"/>	4.
branchenbezogenes Benchmark	<input type="radio"/>	
eigenes Benchmark	<input type="radio"/>	

zurück **Analyse**

Screenshot 2: Phase 1 - Vorbereitung des Benchmarkings

Bisher liegt keine Benchmarkdatenbank für den Druckverlust von Druckluftfiltern vor. Für den konkurrenzbezogenen Benchmark wurden deshalb anstelle des Druckverlusts des branchenbesten Druckluftfilters die Obergrenze des Druckverlusts der Labelklasse A gewählt (erarbeitet in AP 1). Als Ersatz für den Branchendurchschnitt (branchenbezogenes Benchmark) wurde die Obergrenze des Druckverlusts der Labelklasse D gewählt. Wird die Option eines eigenen Benchmarks gewählt, so kann dieser in der nächsten Phase manuell eingegeben werden.

Screenshot 3 zeigt die festgelegten Benchmarks. Die obere Tabelle entspricht dabei den konkurrenzbezogenen Benchmarks, die untere Tabelle den branchenbezogenen Benchmarks, unterteilt in die jeweiligen Filterklassen (1-5) und die jeweiligen Filtertypen (1-3). Die eingetragenen Werte können im Tabellensheet „Benchmarkschlüssel“ jederzeit durch andere Werte überschrieben werden.

konkurrenzbezogenes Benchmarking - 1			
Filtertyp	Partikelfilter	Koaleszenzfilter	Absorptionsfilter
Filterklasse	1	2	3
1	100	100	100
2	80	80	80
3	60	60	60
4	40	40	40
5	20	20	20

branchenbezogenes Benchmarking - 2			
Filtertyp	Partikelfilter	Koaleszenzfilter	Absorptionsfilter
Filterklasse	1	2	3
1	250	250	250
2	200	200	200
3	150	150	150
4	100	100	100
5	50	50	50

Screenshot 3: Festlegung der Benchmarks

Phase 2: Analyse der Leistungslücke

In der nächsten Phase des Benchmarking-Prozess wird einerseits die Leistungslücke zum gewählten Benchmark identifiziert, andererseits versucht die Ursachen für diese Leistungslücke aufzudecken um diese in der letzten Phase möglichst sprunghaft schließen zu können.^{15,16}

Die Leistungslücke entspricht in diesem Benchmarking der Reduktionsmöglichkeit des Druckverlusts und damit indirekt dem Einsparpotential von CO₂-Emissionen in der Betriebsphase des betrachteten Druckluftfilters im Vergleich zum gewählten Benchmark. Berechnen lässt sich das Reduktionspotential [%] des Druckverlusts Δp [%] nach folgender Formel:

$$\text{Reduktionspotential } \Delta p = \frac{\Delta p_{\text{Druckluftfilter}} - \Delta p_{\text{Benchmark}}}{\Delta p_{\text{Druckluftfilter}}} * 100$$

Die alleinige Identifikation des Rückstandes genügt bei der Benchmark-Analyse jedoch nicht. Entscheidend ist die Ermittlung der Ursachen für die vorhandene Leistungslücke.¹⁷ Erst wenn die Ursachen für die Leistungslücke identifiziert sind, können in der letzten Phase des Benchmarking-Prozess sinnvolle Maßnahmen zur Schließung des Gaps ergriffen und damit die Wettbewerbsfähigkeit des Unternehmens gefördert werden.¹⁸

Screenshot 4 zeigt, wie der Demonstrator die Identifikation der Leistungslücke in der 2. Phase des Benchmarking-Prozess unterstützt.

Wurde in der vorherigen Phase das konkurrenzbezogene oder das branchenbezogene Benchmark als Vergleichsmaßstab gewählt, so muss keine weitere Eingabe getätigt werden. Wurde die Option „eigenes Benchmark“ getroffen, muss dieser Wert nun unter 1. eingegeben werden. Unter 2. besteht nun die Möglichkeit den verwendeten Benchmark sowie den eingegebenen Vergleichswert (Angabe Druckverlust - Phase 1) auf deren Richtigkeit zu

¹⁵ Vgl. Ulrich 1998, S.10

¹⁶ Hartung et al. 1998, S.78

¹⁷ Vgl. Horváth und Herter 1992

¹⁸ Vgl. Puschmann 2000, S.11

überprüfen. Die Leistungslücke bzw. das prozentuale Einsparpotential des Druckverlusts kann direkt abgelesen werden (3.). Durch die Visualisierung des Einsparpotentials (4.) mithilfe der Auftragung des Benchmarks und des Vergleichswertes im Balkendiagramm wird das Verbesserungspotential auch grafisch verdeutlicht.

Der Button „Handlungsmaßnahmen“ führt zur Unterstützung der letzten Phase des Benchmarkings, der Umsetzung.

Phase 2: Analyse

Identifikation der Leistungslücke

Bei Wahl eines **eigenen Benchmarks** bitte Benchmark eingeben:

mbar **1.**

verwendeter Benchmark mbar **2.**

Vergleichswert mbar **3.**

Leistungslücke/Einsparpotential % **3.**

zurück **Handlungsmaßnahmen**

Screenshot 4: Phase 2 - Analyse

Der Demonstrator unterstützt die Identifikation der Leistungslücke, nicht jedoch die Ermittlung deren Ursachen. Hierzu müssen weitere Produktinformationen des betrachteten Druckluftfilters analysiert werden. Beispielsweise kann die Abweichung des Druckverlusts in der Qualität des eingesetzten Filtermediums oder der Anzahl an Filterlagen begründet sein.

Phase 3: Umsetzung

Aus Phase 2 des Benchmarkings - der Analyse - ist das Unternehmen in der Kenntnis über ihren momentanen Stand der untersuchten Leistungsparameter gegenüber der Konkurrenz. Die identifizierte Leistungslücke bzw. der Rückstand zur Konkurrenz wird nun auf die Komptabilität mit der gewählten Wettbewerbsstrategie des jeweiligen Unternehmens überprüft. In Abhängigkeit der Höhe dieser Abweichung müssen durch das Unternehmen nun Ziele und Strategien abgeleitet werden, um dieses Gap zu schließen. Möchte beispielsweise ein Hersteller die Qualitätsführerschaft einnehmen, weist aber einen großen Rückstand in

qualitativen Leistungsparametern im konkurrenzbezogenen Benchmarking auf, so besteht für ihn ein großer Handlungsbedarf zur Verbesserung seiner Produktqualität. Erreichen kann er eine Verbesserung seiner Wettbewerbsposition z.B. in der Festsetzung neuer Leistungsstandards. Aufbauend auf dem Ergebnis des Benchmarkings müssen konkrete Aktionspläne zur Umsetzung und Implementierung von Handlungsmaßnahmen im relevanten Funktionalbereich entwickelt werden.¹⁹ Zur Sicherung der Umsetzung und der Zweckmäßigkeit dieser Handlungsmaßnahmen kann die Vorgabe von Entwicklungspfade für die Leistungsbeurteilungsgrößen geeignet sein. Diese Vorgabe ermöglicht eine regelmäßige Überwachung des Fortschritts der Implementierung. Ergänzend an die Fortschrittskontrollen muss auch das Benchmarking kontinuierlich wiederholt werden. Die Ergebnisse des Benchmarking-Prozesses müssen ständig überprüft werden, da in dynamischen Märkten fortlaufend eine Verbesserung der eingesetzten Verfahren und Technologien stattfindet.²⁰

Die letzte Phase des Benchmarking Prozesses kann durch den Demonstrator nur in geringem Umfang unterstützt werden. Screenshot 5 zeigt mögliche Handlungsmaßnahmen bei komponentenbedingten Ursachen der Leistungslücke. Dieser Maßnahmenkatalog kann gemäß den identifizierten Ursachen (Phase 2) beliebig weiter ergänzt werden.

Phase 3: Umsetzen		
komponentenbezogene Maßnahmen: Katalog an Handlungsmaßnahmen bei einer komponentenbedingten Ursache der Leistungslücke		
Komponente	mögliche Ursache der Leistungslücke	Maßnahme
Filterelement	zu geringe Oberfläche	Einsatz eines plissierten Filtermediums Erhöhung der Anzahl an Filterlagen
	Verstopfung	Auswechseln des Filterelements
	Qualität des Materials	Austausch des Filtermediums (High-tech Materialien)
	Ungeeignete Strömungsverteilung	Einsatz eines neuen Filterelements
Gehäuse	Größe des Querschnitt zu gering für ideale Filterfläche	Ersatz des Gehäuses

Screenshot 5: Phase 3 - Umsetzung

¹⁹ Vgl. Horváth und Herter 1992

²⁰ Vgl. Fifer und Associates, Michael M. Kaiser 1988, S.48

1. Literaturverzeichnis

Norm ISO 12500: Filters for compressed air - Methods of test.

Fifer, Robert. M.; Associates, Michael M. Kaiser (1988): *Beating the competition: A practical guide to benchmarking*. o.O.: Vienna, Va.: Kaiser Associates.

Harrington, H. J. (1991): *Business process improvement. The breakthrough strategy for total quality, productivity, and competitiveness*. New York: McGraw-Hill.

Hartung, Willy; Schäper, Christoph; Voges, Oliver (1998): *Benchmarking. Einsatz der Informationstechnologie im Finanz- und Rechnungswesen*. In: *Bilanzbuchhalter und Controller* (4), S. 78–80.

Horváth, Péter; Herter, Ronald N. (1992): *Benchmarking: Vergleich mit den Besten der Besten*. In: *Controlling* (1), S. 4–11.

Karlöf, Bengt; Östblom, Svante (1994): *Das Benchmarking-Konzept. Wegweiser zur Spitzenleistung in Qualität und Produktivität*. München: Vahlen.

Mertens, Kai (Hg.) (2009): *Benchmarking. Leitfaden für den Vergleich mit den Besten*. 2., überarb. Aufl. Düsseldorf: Symposion. Online verfügbar unter <http://www.worldcat.org/oclc/321087642>.

Puschmann, Norbert O. (2000): *Benchmarking. Organisation, Prinzipien und Methoden*. Unna: S. Externbrink-Puschmann. Online verfügbar unter <http://www.worldcat.org/oclc/76136687>.

Spendolini, Michael J. (1992): *The Benchmarking Book*. 2. Aufl. New York: Amacom.

Ulrich, Peter (1998): *Organisationales Lernen durch Benchmarking*. Wiesbaden: Dt. Univ.-Verl. [u.a.] (Gabler-Edition Wissenschaft. Markt- und Unternehmensentwicklung).

Weber, Jürgen; Wertz, Boris: *Benchmarking Excellence. Advanced Controlling*: Wiley-VCH.



Carbon Management

Entwicklung von Instrumenten zur Erarbeitung, Dokumentation und Umsetzung des produktlebenszyklusorientierten Carbon Accounting, Carbon Planning und Carbon Controlling (Carbon Management) in der Druckluftfilterbranche

Leitfaden zur qualitativen Schätzung der CO₂-Emissionen

Gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages.



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Impressum

IPRI International Performance Research Institute gGmbH
gemeinnützige GmbH
Sebastian Kasselmann, M.Sc.

Dieser Leitfaden entstand im Rahmen des Projektes „Carbon Management“. Das IGF-Vorhaben 17992 N / 1 der Forschungsvereinigung Institut für Energie- und Umwelttechnik e.V. - IUTA, Bliersheimer Straße 60, 47229 Duisburg wurde über die AIF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Leitfaden zur qualitativen Schätzung der CO₂-Emissionen

Zunächst wurden mehrere verschiedene Ansätze zu Ökobilanzen verglichen. Nach den Normen ISO 14040 und ISO 14044 ist die Ökobilanz ein anerkanntes und vereinheitlichtes Instrument zur Sammlung, wirkungsbezogener Aggregation, Analyse und Bewertung von Umweltinformationen (Dold/Wörner, 1996; Schaltegger/Sturm, 2000). Im internationalen Sprachraum hat sich der Begriff Life-Cycle-Assessment (LCA) als Synonym für den Begriff der Ökobilanz durchgesetzt.

Nach ISO 14040 ist die Ökobilanz definiert als „Zusammenstellung und Beurteilung der Input- und Outputflüsse und der potenziellen Umweltwirkungen eines Produktsystems im Verlauf seines Lebensweges“ (DIN EN ISO 14040:2009).

Sie verfolgt einerseits das Ziel, Umweltwirkungen in jeder Phase des Lebenszyklus eines Produktsystems zur Verfügung zu stellen und so ökologieorientierte Entscheidungen zu systematisieren, unterstützen sowie transparent zu machen (Curran, 2006; Siegenthaler, 2006). Andererseits trägt sie dazu bei, wesentliche Schwachstellen und Treiber von Umweltwirkungen innerhalb von Produktlebenszyklen zu analysieren und Möglichkeiten zur Verbesserung der Umwelteigenschaften von Produkten aufzuzeigen (DIN EN ISO 14040:2009; Lundie, 1999; Niederl-Schmidinger/Narodoslawsky, 2008).

Aufgrund ihrer methodischen Weiterentwicklungen, insbesondere in der ISO 14000-Normungsreihe und ihrer praktischen Erprobung, stellt die Ökobilanz heute ein Umweltinformationsinstrument dar, das eine fundierte Beurteilung der ökologischen Folgen unternehmerischen Handels ermöglicht (Hallay/Pfriem, 1994; Seliger 2012).

Wesentliche methodische Grundlage stellt die Lebenszyklusbetrachtung dar: „Grundsätzlich werden in einer Ökobilanz alle Umweltveränderungen betrachtet, die intentional und kausal mit einem zu betrachtenden Zurechnungsobjekt im Verlaufe dessen gesamten Lebenszyklus in Verbindungen stehen“ (Sundmacher, 2002). Bei den Zurechnungsprojekten sind Unternehmen, Produkte oder Prozesse denkbar. Je nach Zurechnungsobjekt und Intention werden in der Literatur **unternehmens- oder produktorientierte Ökobilanzen** unterschieden (Braunschweig/Müller-Wenk, 1993). In der Praxis zeigt sich jedoch, dass die produktorientierte Ökobilanz (auch Produkt-Ökobilanz) einen deutlich höheren Stellenwert besitzt. Sie bezieht sich auf sämtliche **Umweltaspekte und potenzielle Umweltwirkungen im Lebenszyklus eines Produktes**, d.h. von der Rohstoffgewinnung über die Herstellung, Nutzung, Abfallbehandlung, Recycling bis zur endgültigen Entsorgung (DIN EN ISO 14040:2009; Wiedmann/Minx, 2007). Abbildung 1 stellt die Phasen eines Produktlebenszyklus für einen Druckluftfilter und damit einhergehende Input- und Outputflüsse exemplarisch dar, die es im Rahmen der Ökobilanzierung in Betracht zu ziehen gilt.

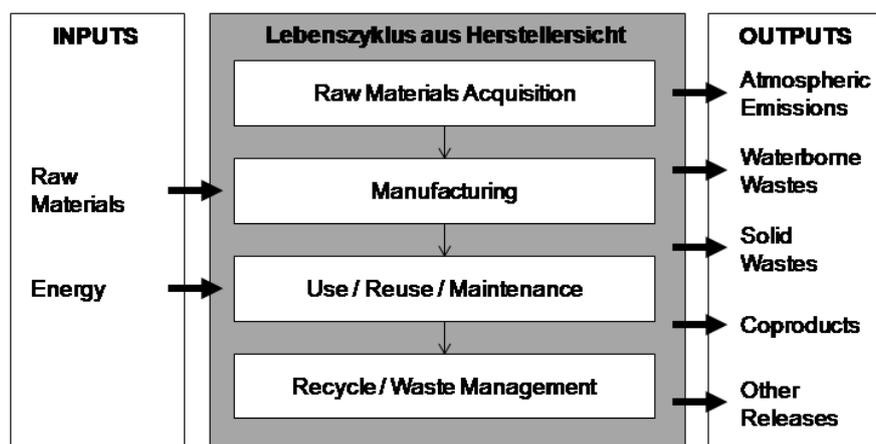


Abbildung 1: Lebenszyklusphasen und Umweltwirkungen aus Herstellersicht (Curran, 2006)

Die Vereinheitlichungen der Ökobilanz durch zahlreiche Gremien und nicht zuletzt durch die ISO-Normausschüsse (ISO 14040 ff.-Normungsreihe) haben dazu beigetragen, dass für das Instrument der produktorientierten Ökobilanz ein umfassendes Regelwerk mit Begriffsdefinitionen, Mindestanforderungen und Grundregeln existiert (Sundmacher, 2002). Dabei hat sich ein konsensfähiger Ansatz einer Grundstruktur zur Aufstellung von Ökobilanzen gebildet. Danach soll die Ökobilanz anhand von vier Phasen erstellt werden (DIN EN ISO 14040:2009):

- Phase der **Festlegung von Ziel und Untersuchungsrahmen** für die Ökobilanz-Erstellung
- **Sachbilanz**-Phase: Bestandsaufnahme von Input-/Outputdaten in Bezug auf das zu untersuchende System; Sammlung der Daten, die zum Erreichen der Ziele notwendig sind
- Phase der **Wirkungsabschätzung**: Bereitstellung zusätzlicher Informationen zur Unterstützung der Einschätzung der Sachbilanzergebnisse eines Produktsystems, um deren Umweltrelevanz besser zu verstehen
- Phase der **Auswertung**: Zusammenfassung der Ergebnisse einer Sachbilanz oder einer Wirkungsabschätzung oder beider in Übereinstimmung mit der Zielstellung und dem Untersuchungsrahmen als Basis für Schlussfolgerungen, Empfehlungen und Entscheidungshilfen

Charakteristisch für jede Ökobilanz ist, dass es sich immer um eine Momentaufnahme handelt (Schmidt, 2010). Veränderungen bspw. im Produktionsprozess können nicht oder nur mit einem sehr hohen Aufwand nachträglich berücksichtigt werden. Deswegen ist die Interpretation der Ergebnisse meist auch nur punktuell z.B. im Rahmen eines Produktgruppenvergleichs oder einer Potenzialanalyse für die Reduzierung von Umweltwirkungen sinnvoll (Schmidt, 2010).

Die Verfügbarkeit und Qualität der umweltbezogenen Daten sind die wichtigsten Kriterien zur Entscheidung, mit welcher Detaillierung eine Ökobilanzstudie durchgeführt werden kann (Klöpffer/Grahl, 2009). Um auch mit geringerem Datenaufwand sinnvolle Aussagen zu treffen, besteht die Möglichkeit der Erstellung einer vereinfachten Ökobilanz (Simplified oder Streamlined LCA) (Bocken et al., 2012). Diese gewinnt vor allem aus Sicht der Praxis aufgrund ihres geringeren Aufwands und der zeitnahen Zurverfügungstellung umweltbezogener Informationen zunehmend an Beliebtheit (Todd/Curran, 1999).

Vereinfachte Ökobilanzen in Anlehnung an Weitz et al., 1996 und Graedel, 1998 betrachten die wesentlichen Hauptumweltwirkungen im Produktlebenszyklus sowie die zentralen Treiber und Ursachen (z.B. Rohstoffeinsatz nach Gewicht) und stützen sich dabei auf direkt zugängliche und verfügbare Informationen und Daten, mit dem Ziel, den Prozess der Ökobilanzerstellung wesentlich zu vereinfachen (Bocken et al., 2012). Zudem konzentrieren sich vereinfachte Ökobilanzen häufig auf bestimmte Stufen bzw. Phasen im Produktlebenszyklus (Todd/Curran, 1999). Eine zutreffende Definition vereinfachter Ökobilanzen findet sich in Bocken et al., 2012: „Streamlined LCA is defined [...] as a LCA in which a reduced number of impacts or processes are analyzed.“ Während die Ökobilanz eine umfassende quantitative Methode darstellt, werden im Rahmen von Verfahren zur vereinfachten Ökobilanzierung regelmäßig ausgewählte, besonders relevante Umweltwirkungen auf Basis semi-quantitativer oder qualitativer Scoring-Modelle analysiert (z.B. Bocken et al., 2012; Graedel, 1998; Wenzel, 1998). „Eine Ökobilanz betrachtet alle Attribute und Aspekte von natürlicher Umwelt, menschlicher Gesundheit und Ressourcen“ (DIN EN ISO 14040:2009). Während Ökobilanzen grundsätzlich alle Umweltwirkungen über den Lebenszyklus des Zurechnungsobjekts umfassen, fokussiert Carbon Management die Erfassung, die Messung, die Verteilung, den Ausweis und die Steuerung von

Treibhausgasen insbesondere CO₂-Emissionen (Dresen/Herzog, 2009; Stichnothe/von Thünen, 2009). Andere Input- und Outputflüsse werden nicht betrachtet (Günther/Stechemesser, 2010). Grundlage des Carbon Managements bildet die Erstellung von Ökobilanzen.

Ökobilanzierung als Basis zur qualitativen Schätzung der CO₂-Emissionen

Die Ökobilanz ist ein anerkanntes und nach den Normen ISO 14040 und ISO 14044 vereinheitlichtes Instrument zur Sammlung, wirkungsbezogener Aggregation, Analyse und Bewertung von Umweltinformationen. Vor über 45 Jahre wurden Ökobilanzen entwickelt und stetig neuen Anforderungen angepasst. Hierbei wurden Ansätze zur ökologischen Buchhaltung verfolgt, mit dem Ziel Umweltwirkungen nach einem fest vorgegebenen Verfahren zu erfassen. Das Verfahren sieht eine Kenngrößenanalyse mit einer spezifischen Gewichtung anhand der Knappheit der Güter, vor.

Im internationalen Sprachraum hat sich der Begriff Life-Cycle-Assessment, kurz LCA als Synonym für den Begriff der Ökobilanz durchgesetzt. Alle Methoden versuchen einen einheitlichen Rahmen z.B. bei der Erfassung der CO₂-Emissionen eines Produkts abzustecken. Sie verfolgt einerseits das Ziel, Umweltwirkungen in jeder Phase des Lebenszyklus eines Produktsystems zur Verfügung zu stellen und so ökologieorientierte Entscheidungen zu systematisieren, unterstützen sowie transparent zu machen. Es darf nicht nur eine Emission im Vordergrund der Betrachtung stehen, sondern eine Ökobilanz muss alle Umweltschädigungen erfassen. Die Ökobilanzierung trägt dazu bei, wesentliche Schwachstellen und Treiber von Umweltwirkungen innerhalb von Produktlebenszyklen zu analysieren und Möglichkeiten zur Verbesserung der Umwelteigenschaften von Produkten aufzuzeigen.

Die Definition von Ziel und Untersuchungsrahmen einer Ökobilanz wird in der ISO-Norm 14040 erklärt. Sie umfasst das Umweltmanagement und stellt allgemeine Anforderungen an eine Ökobilanz. Die nachfolgenden ISO-Standards (14041-14043) wurden im Jahr 2006 durch die ISO-Norm 14044 gebündelt.

Die ISO-Standards 14044 ist eine Bündelung der bisherigen ISO-Standards (14041, 14042 und 14043). Sie beinhaltet eine Sachbilanz, eine Wirkungsabschätzung und eine anschließende Auswertung. Danach soll die Ökobilanz anhand von vier Phasen erstellt werden (DIN EN ISO 14040:2009):

- Phase der **Festlegung von Ziel und Untersuchungsrahmen** für die Ökobilanz-Erstellung
- **Sachbilanz**-Phase: Bestandsaufnahme von Input-/Outputdaten in Bezug auf das zu untersuchende System; Sammlung der Daten (Wertstoff- und Energiestromerfassung), die zum Erreichen der Ziele notwendig sind.
- Phase der **Wirkungsabschätzung**: Bereitstellung zusätzlicher Informationen zur Unterstützung der Einschätzung der Sachbilanzergebnisse eines Produktsystems, um deren Umweltrelevanz besser zu verstehen
- Phase der **Auswertung**: Zusammenfassung der Ergebnisse einer Sachbilanz oder einer Wirkungsabschätzung oder beider in Übereinstimmung mit der Zielstellung und dem Untersuchungsrahmen als Basis für Schlussfolgerungen, Empfehlungen und Entscheidungshilfen

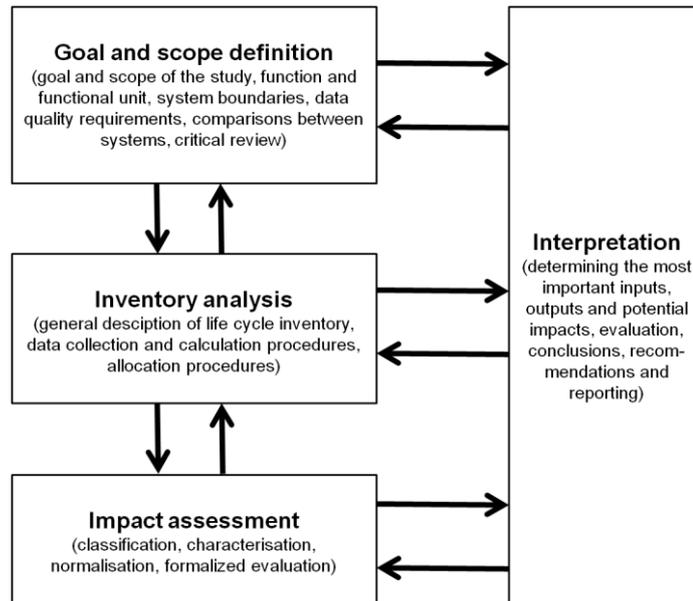


Abbildung 2: Phasendiagramm der Produkt-Ökobilanz nach ISO 14040

Eine Sachbilanz dient der Wertstoff- und Energiestromerfassung während der gesamten Lebensspanne. In der Literatur ist oftmals die Rede vom „von der Wiege bis zur Bahre“ Ansatz. Damit ist der gesamte Lebenszyklus (Herstellung, Nutzung und Entsorgung) gemeint.

Die Wirkungsbilanz beurteilt alle potenziellen Wirkungen, die das Produkt auf Mensch und Umwelt haben kann. Diese Aufstellung kann recht umfangreich werden, da Auswirkungen sich auf viele Bereiche beziehen können. So sind z.B. Auswirkungen auf die Qualität der Luft, den Boden, Einbußen durch den Verbrauch von nicht erneuerbaren Rohstoffen usw. zu erfassen.

Die Auswertung gibt nicht nur eine Ist-Analyse wieder, sondern versucht auch Ansätze zur Verbesserung der Ökobilanzierung aufzuzeigen, sodass die Ökobilanz in Zukunft einen geringeren Emissionsausstoß bzw. Umweltwirkungen aufzeigen kann.

Problematisch ist nach den ISO Normen 14040 und 14044 nur, dass keine Angaben über den Umfang der einzelnen Phasen gegeben werden. Diese Normen dienen lediglich zur Sicherstellung der Mindestanforderungen.

Werden Ökobilanzen jedoch nach außen, an externe Interessengruppen kommuniziert, so müssen wiederum grundsätzliche Anforderungen an Umweltaussagen berücksichtigt werden. Der Zielgruppe muss es ermöglicht werden, anhand der bereitgestellten Informationen die Ergebnisse nachvollziehen zu können. Folglich muss die Methodik der erhobenen Daten bekannt gemacht werden. Schlussfolgerungen müssen dem Leser soweit verständlich gemacht werden, dass dieser Rückschlüsse auf die verwendeten Punkte der Ökobilanz ziehen kann. Wird von Unternehmensseite ein Vergleich zu einem Konkurrenzprodukt angestrebt, so ist dieser nur auf verbaler Weise und nicht auf numerischer Weise vorzunehmen. Würde man jedoch einen numerischen Vergleich vorziehen, so ist die Ökobilanz von einem Expertenkreis, einem Critical Review zu unterziehen.

Eine Ökobilanz dient nicht nur der Erfassung eines Ist-Zustands, sondern unterstützt fast alle Bereiche im Unternehmen, ganz besonders im Controlling, Marketing und in der Produktentwicklung. Sie dient demzufolge auch zur Identifikation von Schwachstellen während des Lebenszyklus, da grobe Umweltwirkungen aufgedeckt werden.

Allgemein lassen sich Ökobilanzen zur Prozessoptimierung einer nachhaltigen Produktion nutzen. Ein in der Literatur weit verbreiteter Ansatz ist der Carbon Footprint, dieser ist sehr stark an die Ökobilanzierung angelehnt, jedoch fokussiert dieser den Beitrag zum Treibhauseffekt, sodass nur eine Emissionsklasse betrachtet wird (die Berechnungsmethoden decken sich mit denen der Ökobilanzierung).

Durch ihre stetige methodische Weiterentwicklung stellen Ökobilanzen heute ein Umweltinformationsinstrument dar, das eine fundierte Beurteilung der ökologischen Folgen unternehmerischen Handelns ermöglicht.

In einer Ökobilanz wird der Anspruch der ganzheitlichen Erfassung von direkten und indirekten Umweltveränderungen im gesamten Lebenszyklus erhoben. Ökobilanzen sind nicht nur auf einzelne Produkte sondern auch auf ganze Unternehmen anwendbar, jedoch erhöht sich mit zusätzlichen Dimensionen auch der Erfassungsaufwand. In der Praxis besitzt die Produktökobilanz einen höheren Stellenwert als es bei der Unternehmensökobilanz der Fall ist. Sie bezieht sich auf alle Umweltaspekte und potenziellen Umweltwirkungen im Produktlebenszyklus. Dies beginnt bei der Rohstoffgewinnung, über die die Herstellung, Nutzung und Entsorgungsphase.

Eine erstellte Ökobilanz ist ein statisches Gebilde und somit bildet diese immer nur eine Momentaufnahme ab. Werden hingegen Veränderungen im Produktionsprozess, neue Materialien oder Eigenschaften verändert muss für jeden Fall eine neue Ökobilanz erstellt werden. Anpassungen sind mit erheblichem Aufwand verbunden. Folglich sind Aussagen und Interpretationen immer nur punktuelle Ist-Analysen, deren Aussagen sich auf Produktgruppenvergleiche oder Potenzialanalysen für die Reduzierung von Umweltwirkungen beziehen.

Die Hauptaufgabe bei der Erstellung einer Ökobilanz ist die Suche nach den passenden Daten, hierbei spielen die Verfügbarkeit und die Qualität die wichtigsten Rollen. Der Detailgrad einer Ökobilanzstudie variiert je nach Verfügbarkeit und Qualität der Daten. Diese Problematik greift die vereinfachte Ökobilanz (Simplified oder Streamlined LCA) auf, denn sie ermöglicht auch mit geringerem Datenmaterial eine sinnvolle Analyse. Dieses vereinfachte Verfahren setzt sich in der Praxis immer stärker durch, da Unternehmen mit einem geringeren Aufwand konfrontiert sind und somit einer raschen Ist-Analyse umweltbezogener Informationen nichts im Wege steht. Da die vereinfachte Ökobilanzierung auch für das Projekt Carbon Management zum Einsatz kommt, wird diese nachfolgend genauer beleuchtet.

Sie betrachten die wesentlichen Hauptumweltwirkungen im Produktlebenszyklus. Es wird auf zugängliche Daten und Informationen zurückgegriffen. So ist eine einfache Zuordnung von Emissionen anhand von Datenbanken (wie z.B. www.probas.de, des deutschen Umweltamtes) möglich den Rohstoffeinsatz nach Gewicht auf deren Umweltwirkungen hin zu erheben. Das ProBas vom Umweltbundesamt liefert prozessorientierte Basisdaten für Umweltmanagementsysteme, mit deren Hilfe eine Ökobilanz leichter aufzustellen ist. So ist es zum Beispiel möglich den CO₂ Ausstoß für ein Gramm Kupfer zu erheben. Dies vereinfacht die Erhebung einer Ökobilanz ungemein. Desweiteren ist es bei vereinfachten Ökobilanzen gestattet sich auf bestimmte Stufen bzw. Phasen im Produktlebenszyklus (Todd/Curan, 1999) zu konzentrieren. Eine zutreffende Definition vereinfachter Ökobilanzen findet sich in Bocken et al., 2012: „Streamlined LCA is defined [...] as a LCA in which a reduced number of impacts or processes are analyzed.“ Während die Ökobilanz eine

umfassende quantitative Methode darstellt, werden im Rahmen von Verfahren zur vereinfachten Ökobilanzierung regelmäßig ausgewählte, besonders relevante Umweltwirkungen auf Basis semi-quantitativer oder qualitativer Scoring-Modelle analysiert (z.B. Bocken et al., 2012; Graedel, 1998; Wenzel, 1998). „Eine Ökobilanz betrachtet alle Attribute und Aspekte von natürlicher Umwelt, menschlicher Gesundheit und Ressourcen“ (DIN EN ISO 14040:2009). Während Ökobilanzen grundsätzlich alle Umweltwirkungen über den Lebenszyklus des Zurechnungsobjekts umfassen, fokussiert Carbon Management die Erfassung, die Messung, die Verteilung, den Ausweis und die Steuerung von Treibhausgasen insbesondere CO₂-Emissionen. Andere Input- und Outputflüsse werden nicht betrachtet. Die Erstellung von Ökobilanzen ist die Grundlage des Carbon Managements.

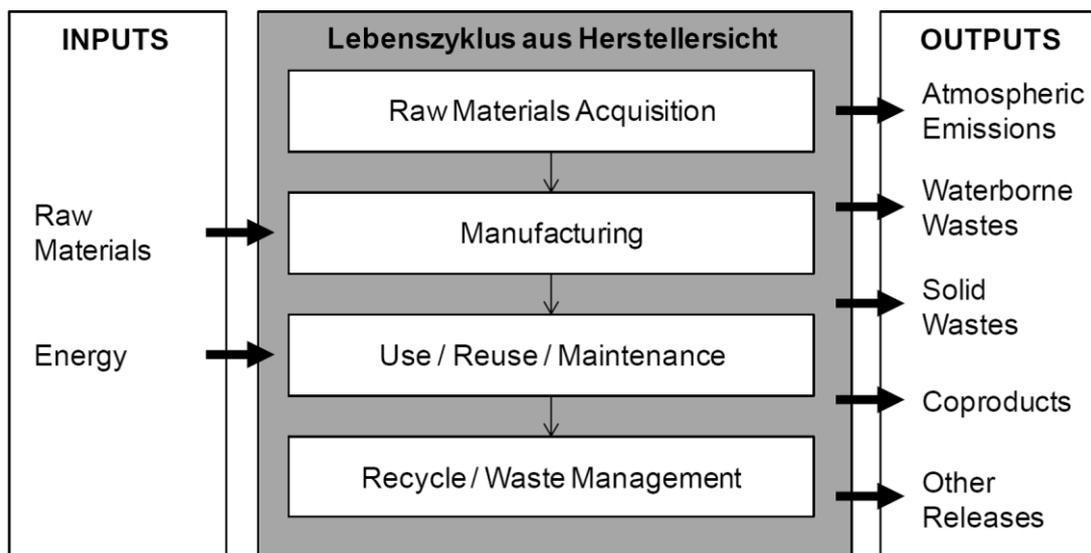


Abbildung 3: Lebenszyklusphasen und Umweltwirkungen aus Herstellersicht (Curran, 2006)

Die Abbildung 3 stellt den Lebenszyklus eines Druckluftfilters dar. Problematisch bei Druckluftfiltern ist die indirekte Erfassung der Emissionen während der Nutzungsphase, denn ein Druckluftfilter selbst erzeugt keine Emissionen. Hierbei muss eine indirekte Methode hinreichend zur Aufstellung einer Ökobilanz sein, denn indirekt durch den Differenzdruck (ausgelöst durch den Strömungswiderstand im Filter) wird ein höherer Energiebedarf im Kompressor verzeichnet. Dieser Mehrverbrauch wird dem Druckluftfilter zugeschrieben, sodass eine lückenlose Erfassung in den verschiedenen Phasen (Herstellung, Nutzung und Entsorgung) möglich ist.

Der Strommix in Deutschland im Jahr 2014

Mit 160 Milliarden Kilowattstunden lieferten Erneuerbare Energien mehr als ein Viertel der deutschen Bruttostromerzeugung. Zusammen hatten sie damit erstmals den größten Anteil im Vergleich zu den einzelnen anderen Energieträgern. Ihr Anteil am Bruttostromverbrauch betrug 27,8%.

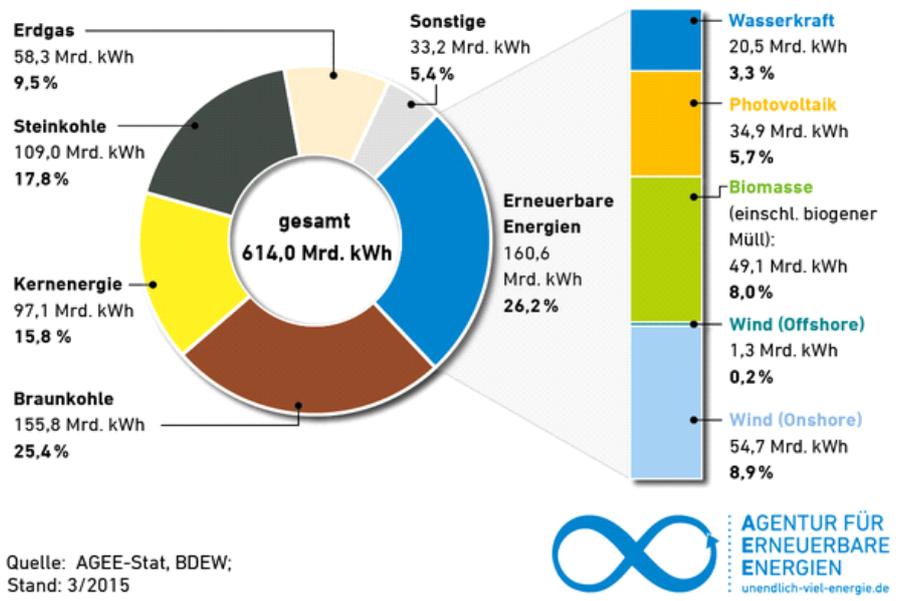
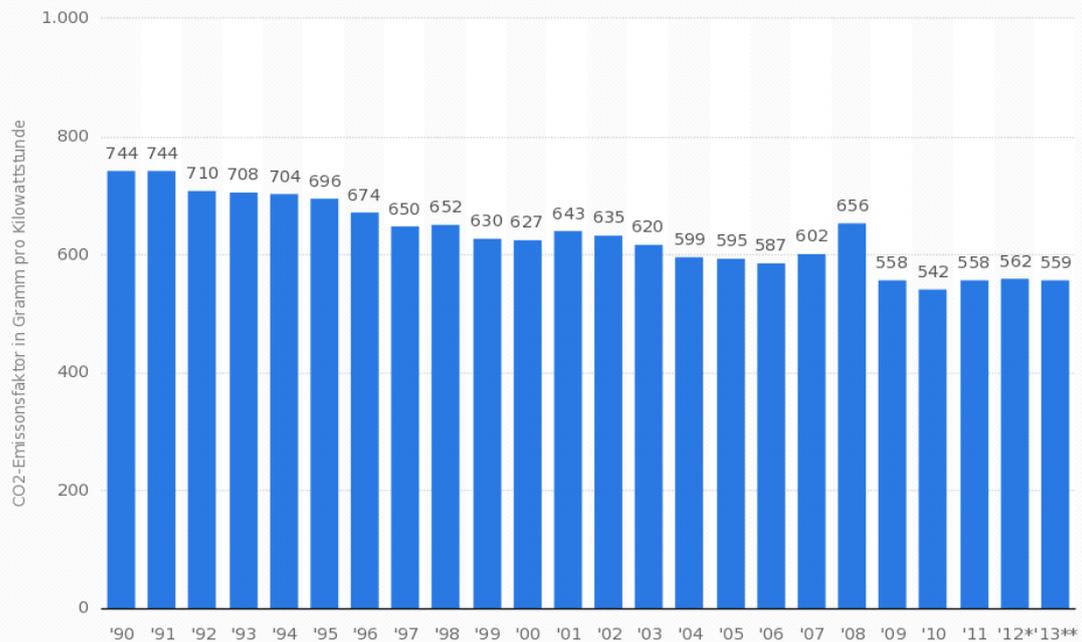


Abbildung 4: Strommix 2015

Entwicklung des CO₂-Emissionsfaktors für den Strommix in Deutschland in den Jahren 1990 bis 2012 (in Gramm pro Kilowattstunde)



Quelle:
Umweltbundesamt
© Statista 2015

Weitere Informationen:
Deutschland

statista

Abbildung 5: Emissionsfaktor im Zeitablauf

Erzeugung

Bruttostromerzeugung in Deutschland für 2012 bis 2014

Energieträger	2012		2013		2014 ¹	
	Mrd.kWh	%	Mrd.kWh	%	Mrd.kWh	%
Bruttostromerzeugung insgesamt	630,1	100	633,2	100	614,0	100
Braunkohle	160,7	25,5	160,9	25,4	155,8	25,4
Kernenergie	99,5	15,8	97,3	15,4	97,1	15,8
Steinkohle	116,4	18,5	121,7	19,2	109,0	17,8
Erdgas	76,4	12,1	67,5	10,7	58,3	9,5
Mineralölprodukte	7,6	1,2	7,2	1,1	6,0	1,0
Erneuerbare Energieträger	143,8	22,8	152,4	24,1	160,6	26,2
Windkraft	50,7	8,0	51,7	8,1	56,0	9,1
Wasserkraft ²	22,1	3,5	23,0	3,6	20,5	3,3
Biomasse	39,7	6,3	41,2	6,5	43,0	7,0
Photovoltaik	26,4	4,2	31,0	4,9	34,9	5,7
Hausmüll ³	5,0	0,8	5,4	0,9	6,1	1,0
Übrige Energieträger	25,7	4,1	26,2	4,1	27,2	4,3

¹ Vorläufige Angaben.

² Erzeugung in Lauf- und Speicherwasserkraftwerken sowie Erzeugung aus natürlichem Zufluss in Pumpspeicherkraftwerken.

³ Nur Erzeugung aus biogenem Anteil des Hausmülls (ca. 50 %).

Abbildung 6: Bruttostromerzeugung 2012 -2014 (AGEB)

Als Ausblick für die Verwertung des Forschungsbeitrags zur vollständigen Ökobilanzierung, die auch für Umwelt-Produktdeklarationen (Environmental Product Declaration, kurz EPD) nach ISO 14025 benötigt wird. Ist der Gang über eine nationale/internationale Zertifizierungsstelle unausweichlich. Bestehen keine verwertbaren PCRs (Product Category Rules) so sind diese in einem transparenten, der Öffentlichkeit zugänglichen Verfahren auf einer öffentlich moderierten Diskussionsplattform zugänglich zu machen.

Stoffstromanalyse

In der Literatur gibt es viele Ansätze zur Ökobilanzierung, dabei haben viele Autoren unterschiedliche Ansätze gewählt. Die meisten Ökobilanzen beruhen auf Stoff- und Energieflüsse. Die Stoffstromanalyse ist keine Erfindung der Ökobilanzierung, sondern ist schon in anderen Bereichen wie z.B. Verfahrenstechnik, Ökonomie und Ökologie etabliert. Basierend auf dem ersten Hauptsatz der Thermodynamik besagt die Stoff- und Energieflussbilanzierung, dass Masse und Energie immer erhalten bleiben. Um diesen Hauptsatz auf Carbon Management zu übertragen wäre das Szenario wie folgt: Energie in Form von elektrischem Strom treibt den Kompressor an, die dabei entstehende Druckluft speichert Energie. Jedoch ist die Erfassung noch nicht am Ende, sondern es entsteht zusätzlich noch Abwärme. Summiert man nun die Outputfaktoren zusammen, hätte man eine ausgeglichene Energiebilanz.

Im Zusammenhang mit Ökobilanzierungen ist in der Literatur auch unausweichlich Querverweise auf eine Stoffstromanalyse zu finden. Die Stoffstromanalyse ist im Vergleich zur Ökobilanzierung nicht genormt, sodass zahlreiche verschiedene Modelle und Methoden existieren. Allgemein dient dieses Instrument der Analyse von Stoff- und Materialströmen eines bestimmten Produkts oder Verfahren. Die wohl größte Unterscheidung beider Verfahren ist der ökologische Gedanke. Bei Ökobilanzen bildet dieser den zentralen

Mittelpunkt, bei Stoffstromanalysen stehen die Ströme (Materialien, Stoffe und Energie) im Mittelpunkt. Im Grunde baut eine Ökobilanz auf einer Stoffstromanalyse auf.

Environmental Effect Analysis (EEA),

Die Umwelteffektanalyse (engl. Environmental Effect Analysis, kurz EEA) beschäftigt sich i.d.R. mit der gleichen Thematik wie es auch Life-Cycle Assessments machen, jedoch wird eine andere Philosophie vertreten. Bauen LCAs auf quantitativen Daten auf, vertraut man bei EEAs auf qualitative Daten. Dieser Unterschied ist sehr gravierend, da allein für die Erhebung quantitativer Daten sehr viel Zeit und Arbeitsleistung aufgewendet werden müssen. Ein vermeintlicher Vorteil der qualitativen Methode ist der subjektive Einfluss den der Ersteller nehmen kann. Aufgrund der fehlenden Objektivität der EEAs werden sie in der Praxis für die frühen Phasen der Produktentwicklung eingesetzt (da heutzutage ökologische Aspekte bei der Produktentwicklung nicht außer Acht gelassen werden dürfen).

Life-Cycle Design Strategy (LiDS),

Der quantitative Lebenszyklusansatz wie er im LCA vertreten wird, zielt in erster Linie auf die bestehende Produktbilanzierung ab. Möchte man jedoch schon während der Produktentwicklung eine Analyse tätigen so kann man sich der Life-Cycle Design Strategy (kurz LiDS) bedienen. Unter den Begriffen LiDS und Ecodesign Strategy findet man ein gängiges Werkzeug, ein Rad in Form eines Radardiagramms, das acht Ökodesignstrategien vorsieht (siehe Abbildung 7).

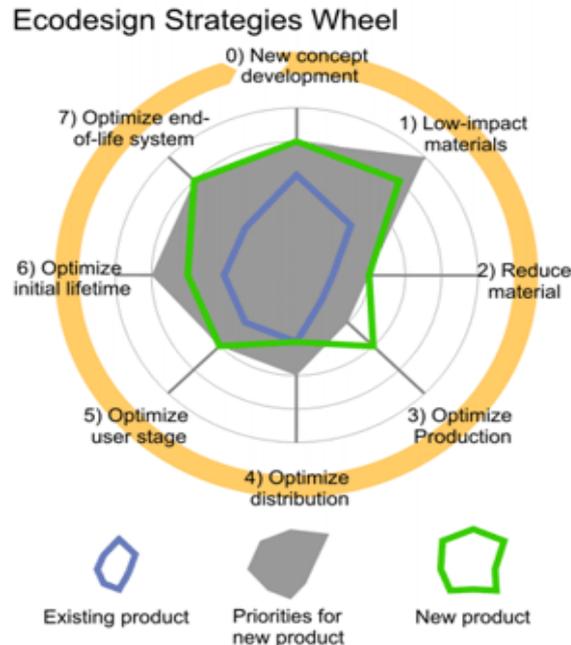


Abbildung 7: LiDS-Rad

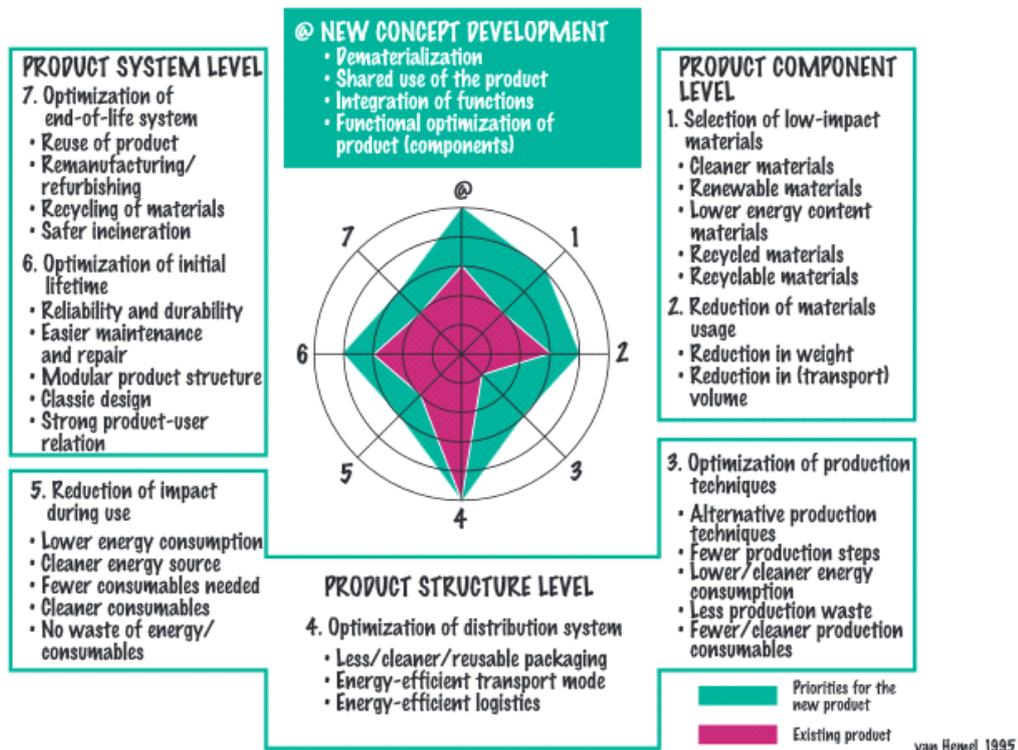


Abbildung 8: EcoDesign Strategy wheel (Brezet, Van Hemel; 1997)

Die LiDS Rad-Analyse ist grundsätzlich ein qualitatives Instrument, somit basieren die Bewertungssysteme auf rein willkürlich getroffene Annahmen. Es kann somit keine Aussage auf die tatsächliche Umweltauswirkung getroffen werden, jedoch eignet sich diese Methode für die Bewertung umweltbezogener Entscheidungen bei zu vergleichenden Designvorschlägen.

Eco Compass

Beim Eco Compass handelt es sich um ein einfaches Modell, im Vergleich zur LCA. Es ist eine vergleichende Methode, mit deren Hilfe ist es möglich, Vergleiche mit bestehenden Produkten bzw. ein zu entwickelndes Produkt mit bereits bestehenden Produkten zu vergleichen. Das Instrument besteht aus zwei Umweltdimensionen: Gesundheit und potentiell Umweltrisiko, die anderen vier Dimensionen sind ökonomischer Natur: Energieintensität, Masse, Revalorisation- und Dienstleistungsausweitung.

Zunächst wurden eine Marktrecherche mit den dazugehörigen Produktdatenblätter erhoben, diese Sammlung umfasst neben den produktspezifischen Daten: Filtertyp, Hersteller, Material, Abscheidegrad bezogen auf Partikel 0,01 µm, Restölgehalt und weitere Merkmale. Diese wurden durch Messergebnisse des Differenzdrucks ergänzt. Mittels Expertengespräche wurden aus Sicht der Praxis Emissionstreiber bestimmt, welche als maßgebliche Druckdifferenzverursacher angesehen wurden. Dabei handelt es sich um: Mithilfe von Experteninterviews und einer ausführlichen Literaturrecherche wurden wesentliche Emissionstreiber bei der Drucklufttherstellung eruiert. Unter Emissionstreiber versteht man Schwachstellen die maßgeblich für Emissionen verantwortlich sind. Das Projekt Carbon Management versteht unter Emissionen, den CO²-Ausstoß, welcher durch die Druckdifferenz (in mbar) vom Filter ausgehend ist. Denn für den Gegendruck bzw. den Druckverlust muss der Kompressor mehr Arbeit verrichten, sodass dieser indirekte Mehrverbrauch alleinig dem Druckluftfilter zuzuschreiben ist.

Als die wichtigsten identifizierten Komponenten werden das Gehäuse und das Filtermedium angesehen. Jedoch wurde bei Expertengespräche noch eine Vielzahl (siehe) von Emissionstreibern, die aus Anwendungssicht Emissionstreiber sein müssten, genannt. Diese werden nachfolgend näher betrachtet. Diese Treiber wurden den Haupttreibern, Gehäuse und Medium zugeordnet:

Tabelle 1: Emissionstreiber - Expertensicht

Emissionstreiber des Filtergehäuses
Durchmesser des Druckluftanschlusses
Strömungswiderstand
Oberflächenrauigkeit
Gehäusegröße
Emissionstreiber des Filtermediums
Größe des Filterelements
Hohlraumvolumen
Physikalische Eigenschaften des Filtermediums
Aufbau des Filterelements

Es zeigte sich beim Filtergehäuse, dass der Durchmesser des Druckluftfilteranschlusses oftmals falsch oder unterschiedlich dimensioniert ist, sodass dies führt einen erheblichen Druckverlust verantwortlich ist. Die Lösung für diesen Emissionstreiber ist ein wohl dimensionierter durchgängiger Anschluss. Die Reduzierung eines Anschlusses von 1“ auf 1/2“ (freier Querschnitt um 65% reduziert) verringert den Eingangsdruck von 8 bar auf 7,5 bar. Dieser Druckabfall führt zu Emissionen, da der Kompressor, den Druckverlust ausgleichen muss.

Als weiterer Emissionstreiber wird der Strömungsführung gesehen, dieser Emissionstreiber tritt häufig bei verwinkelten Bauteilen auf. Hierzu folgt im Anschluss an die Emissionstreiberbetrachtung ein gesonderter Abschnitt. In der Praxis findet man häufig senkrechte Anschlüsse zum Filterelement und ein waagrechter Anschluss zur Druckrohrleitung. Durch die orthogonal liegenden Leitungen kommt es zur Ausbildung eines T-Elements. Dieser 90° Winkel wirkt sich negativ auf den Strömungswiderstand aus. Würde man die Strömungsführung anpassen z.B. mit Hilfe eines strömungsgünstigen Bogens, so könnte man die Druckdifferenz um den Faktor 0,9 senken. Ein Bogen hat im Vergleich zum Winkel einen um 75% reduzierten Strömungswiderstand.

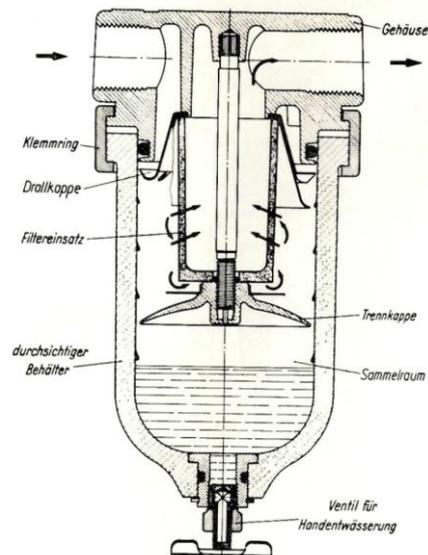


Abbildung 9: Schnittbild eines Druckluftfilters

Die Oberflächenbeschaffenheit im System kann zusätzlich den Strömungswiderstand beeinflussen. Dieses Problem hat zwei Ursachen, zum einen sind durch den Herstellungsprozess keine glatten Oberflächen entstanden, oder durch Korrosion. Der Feuchtigkeitseintrag in der Druckluft lässt ungeschützte Oberflächen korrodieren.

Hier gilt die Faustformel, je rauer die Oberfläche, desto ungünstiger ist die Luftführung und somit auch der Strömungswiderstand.

Die Gehäusegröße kann für die vorher genannten Emissionstreiber mitverantwortlich sein, denn die Gehäusegröße gibt maßgeblich die Voraussetzungen für die Strömungsführung und die Anschlussgröße. Auch hier gilt je größer das Gehäuse, desto mehr Raum steht dem Anschluss und auch der Strömungsführung zur Verfügung.

Das Filtermedium an sich liefert weitere Emissionstreiber (siehe Abbildung XXX): Die Größe des Filterelements hat wesentlichen Einfluss auf den Druckverlust, hierbei gilt: je größer das Filterelement, desto größer ist dessen Oberfläche und daraus resultiert ein geringerer Druckverlust. Dieser Treiber steht in Korrelation mit der Gehäusegröße, denn je größer das Gehäuse, desto größer kann das Filtermedium sein. Das Hohlraumvolumen hat auch einen Effekt auf die Druckluftströmung, je mehr Raum der Druckluft zur Durchströmung des Mediums gegenüber steht, desto niedriger ist der Strömungswiderstand und folglich auch ein geringer Druckverlust. Als ideal Lösung muss das Hohlraumvolumen und die Größe des Filterelements aufeinander angepasst sein, um eine maximale Reduktion des Druckverlustes zu erreichen. Auch bei kleinen Filtern, muss im Umkehrschluss auch das Hohlraumvolumen für einen minimalen Druck reduziert werden. Das Hohlraumvolumen spiegelt sich auch in der physikalischen Eigenschaft des Filtermediums wieder, denn ein hydrophobes (wasserabweisendes) Material vermindert die Ansammlung von Feuchtigkeit im Filtermedium (Fasern des Filters) und hilft dadurch das Hohlraumvolumen aufrecht zu erhalten. Diese Eigenschaft ist besonders wichtig bei Koaleszenzfiltern. Der Aufbau des Filterelements ist besonders relevant für die Abscheideleistung eines Filters. Die Anzahl der Filterlagen bestimmt die Abscheideleistung, hier gilt allgemein, dass mit steigender Abscheideleistung auch der Druckverlust steigt. Bei Koaleszenzfiltern ist der Aufbau der Filterlagenstärke von Belang, hingegen bei Partikel- bzw. Aktivkohlefiltern nicht. Die erste Lage sollte sehr dick und auch ein geringes Hohlraumvolumen aufweisen, dies fördert die Koaleszenz der

Tröpfchen. Die nachfolgenden Lagen sollten von der Stärke stetig abnehmen bzw. offenerporiger werden, damit die Tröpfchen von innen nach außen anwachsen können.

Die sieben aufgezählten Emissionstreiber haben aber nicht alle die gleiche Wirkung auf den Gesamtdruckverlust, den ein Filter verursacht. Als maximale Einflussgröße für den Gesamtdruckverlust ist der Strömungswiderstand anzusehen, er macht laut Expertenmeinung zwischen 30 und 40% des Gesamtdruckverlustes aus.

Laut Antrag wurde für Arbeitspaket 3 ein Schätzvorgehen für Produkte ohne CO₂ Angabe versprochen. Das Projekt sieht für die ersten Arbeitspakete den Fokus auf die Arbeitsphase des Filters. Naturgemäß verursacht der Filter keinen eigenen CO₂-Ausstoß, sondern indirekt durch die Mehrbelastung des Kompressors. Diese Mehrleistung wird durch die Druckdifferenz ausgelöst. Die Luft muss durch den Filter strömen, dabei muss die komprimierte Luft einen Strömungswiderstand überwinden. Dieser Strömungswiderstand kommt durch die Beschaffenheit des Filtermaterials, der Gehäuseführung und des ganzen Filterdesign zustande.

Es wurden mehrere Ansätze der vereinfachten Ökobilanzen analysiert, jedoch mit dem Entschluss eine sehr vereinfachte Form der Ökobilanz anzuwenden, welche wiederum mit einer Annahme zur indirekten Erfassung der CO₂-Emissionen erweitert worden ist. Die vereinfachten Ökobilanzkonzepte müssen um indirekte Emissionen (nicht zu verwechseln mit der Scope Betrachtung nach dem Treibhausgesetz) erweitert werden. Da der Filter an sich keine Emissionen während der Nutzung generiert, jedoch alleinig für den Mehrverbrauch an Energie durch den Druckluftkompressor verantwortlich ist, muss dieser Anstieg in die Berechnung einfließen. Ein Druckluftfilter erzeugt durch seinen Aufbau einen Gegendruck bzw. Druckverlust, dieser muss dem Druckluftdruckbedarf hinzuaddiert werden. Beispiel: ein Filter weist eine Druckdifferenz von 500 mbar auf, die Verbraucher im Druckluftnetz benötigen einen Betriebsdruck von 7,5 bar. Dies hat zur Folge, dass der Kompressor 8 bar an Druckluft bereitstellen muss (entspricht einer Mehrarbeit von 6,6%). Diese Mehrarbeit kann direkt auf die anteilige Stromaufnahme des Kompressors verrechnet werden. Durch die indirekte Erfassung ist auch ein CO₂-Ausweis möglich, da die Stromzusammensetzung in der Regel bekannt ist. Um einen Vergleich verschiedener Druckluftfilter ziehen zu können sind einige Parameter zu standardisieren. Der Betriebsdruck der Verbraucher, der Kompressor und die Auslastung über einen gewissen Zeitraum müssen standardisiert bzw. konstant sein. Weicht hingegen eine der Kennzahlen ab, ist ein Vergleich verschiedener Ökobilanzen von Druckluftfiltern nicht möglich. Bei der praktischen Anwendung ist das größte Problem die Erfassung der Druckdifferenz. Im Normalfall gibt der Hersteller die Druckdifferenz nicht an, der Endkunde kann diese jedoch nur mittels Messtechnik ermitteln, welche wiederum nicht selbstverständlich verfügbar ist. Dies führt zu dem Umkehrschluss, dass der Endkunde die erforderlichen Daten i.d.R. nicht selbst erheben kann.

Der dritte und letzte Arbeitsschritt des Arbeitspakets beschäftigte sich mit der Validierung des Schätzvorgehens. Hierfür wurden die umfangreichen Messungen von IUTA verwertet. Anhand der durch Experteninterviews ermittelten Emissionstreiber wurde der Versuch angestellt ein Regressionsmodell aufzustellen. Dieses Modell bestand aus fünf für wichtig erachtete Emissionstreiber (top5), darunter die Gehäusegröße, das Filtermaterial, die Art der Filterbeschaffenheit, das Hohlraumvolumen und die Durchsatzleistung des Filters. Mittels dieser Emissionstreiber und dem gewünschten Abscheidegrad wurde ein Regressionsmodell aufgestellt. Es sei an dieser Stelle angemerkt, dass dieses Schätzvorgehen für den Verbraucher mit zugänglichen Daten realisierbar sein soll. Diese Informationsanforderungen der fünf Emissionstreiber sind teilweise nicht auf dem Produktdatenblatt der Filter aufgeführt, sodass eine Endanwenderlösung mit diesen fünf Treibern nicht sinnvoll erscheint.

Bei der Auswertung der Regression ist kein plausibler Zusammenhang zwischen Eingabe und Ausgabe erkennbar. Im Nachhinein wurde im Projekt festgestellt, dass die fünf Emissionstreiber nicht maßgeblich für die Druckdifferenz des Filters verantwortlich sind. Es ist, wie auch von führenden Herstellern von Druckluftfiltern bestätigt die Strömungsführung der Druckluft von der druckführenden Leitung in das Filtergehäuse und durch das Filtermedium. Dieses Merkmal ist jedoch für den Verbraucher nicht erkennbar und auch nicht von außen ersichtlich.

Ein weiterer Ansatz war die einfache Kombination der Messwerte mit dem Preis. Jedoch ist diese Verwertung sehr plakativ, da das Forschungshaben ja explizit die asiatischen Filter als billige Alternative für hochwertige Filter ansieht, ist eine Aussage je höher der Preis, desto geringer ist die mbar Druckdifferenz vom Forschungsprojektantrag schon bestätigt. Dieser Ansatz ist u.U. für hochwertige und minderwertige Filter zutreffend, jedoch ist es nicht mehr aussagekräftig für Filter die sich im gleichen Segment befinden, da innerhalb der Gruppen natürlich auch Preis und Qualitätsunterschiede bemerkbar machen.

Es bleibt also festzuhalten:

- Fehlende Datenbereitstellung durch Produktdatenblätter
- Offensichtliche Produktinformationen dienen nicht zum Vergleich
- Anwender nicht in der Lage von außen zu bewerten
- Preis kein alleiniges Merkmal

Dieses Problem aus der Antragserstellung ist leider nicht lösbar. Demzufolge beinhaltet der Leitfaden zur qualitativen Schätzung der CO₂-Emissionen nur die soeben beschriebenen Ansätze und theoretische Konstruktionen.

Idee: Konstruktion eines Schätzmodells

Vorgehen:

1. Emissionstreiber bestimmen
2. Filtermessungen
3. Modellaufstellung

- | | |
|------------------------|--|
| a. Abhängige Variable: | mbar Druckdifferenz |
| Unabhängige Variablen: | Gehäusegröße, Filtermaterial, Filterbeschaffenheit, Hohlraumvolumen, Durchsatzleistung |
| b. Abhängige Variable: | mbar Druckdifferenz |
| Unabhängige Variable: | Preis |

Abbildung 10: Konstruktion eines Schätzmodells

Zunächst wurde das Schätzmodell aufgestellt, es wurden die relevanten Emissionstreiber bestimmt, und parallel hierzu Filtermessungen (Differenzdruckmessungen) vorgenommen. Alle Modelle haben als abhängige Variable den mbar Differenzdruck gemein. Dieser ermöglicht eine allgemeingültige Aussage über die Energieeffizienz (während der Nutzungsphase) des Druckluftfilter. Das erste Modell a) bestand aus mehreren unabhängigen Variablen (Emissionstreiber aus der Praxis). Jedoch zeigte sich, dass zum einen die Regression der Daten keine sinnvolle Aussage über die Druckdifferenz ermöglicht, sowie eine unzureichende Datengrundlage bei dem Endkunden. Da dieser nicht in der Lage ist, die Güte/Beschaffenheit des Filtermediums zu bestimmen. Im Modell b) wurden schlichtweg der Preis mit der Druckdifferenz in Relation gesetzt. Jedoch zeigte sich, dass die Regression keine allgemeingültige Aussage zulässt.

Problem hierbei: Die Preise von Druckluftfiltern sind sehr nah beieinander, sodass ein Filter eines Markenherstellers u.U. zwar einen hohen Preis aufweist, jedoch nur eine mittlere Qualität und umgekehrt.

Als einzige sinnvolle Überlegung (in Absprache mit Vertretern des pA) kann festgehalten werden, dass die Strömungsführung als unabhängige Variable sinnvolle Ergebnisse liefern würde. Jedoch aus Mangel der Verfügbarkeit ist diese Methode für den Endanwender nicht zu realisieren. Während der Erhebung zeigte sich deutlich, dass die Qualität der Produktdatenblätter oftmals unterschiedliche Kenngrößen, aber auch nur ausgewählte Größen beinhaltet.

Es bleibt festzuhalten, dass dieses Ergebnis die Forderung nach einem Ökolabel aus dem Antrag bekräftigt.

3. Modellaufstellung

a. **Abhängige Variable:** mbar Druckdifferenz

Unabhängige Variablen: Gehäusegröße, Filtermaterial, Filterbeschaffenheit, Hohlraumvolumen, Durchsatzleistung

- keine Regression möglich, da keine Korrelation der Variablen vorhanden ist
- Begründung: Zusammenhang der Variablen ist nicht signifikant

Messungen und Expertengespräche führten zu der Auffassung, dass die Strömungsführung als größter Emissionstreiber anzusehen ist, jedoch ist dies nicht im Projekt messbar.

- von außen ist der Zustand nicht ersichtlich, wäre dies so einfach bräuhete man kein Ökolabeling
- **diese Erkenntnis bestätigt den Nutzen eines Ökolabels**

Abbildung 11: Modellaufstellung (a)

3. Modellaufstellung

b. **Abhängige Variable:** mbar Druckdifferenz

Unabhängige Variable: Preis

Funktioniert für Aussagen, wie z.B. Ein hochpreisiger Markenfilter hat eine höhere Effizienz als ein sehr günstiges asiatisches Plagiat.

Jedoch sobald man innerhalb der hochpreisigen Markenfilter diesen Vergleich anstreben will, funktioniert dies schon wieder nicht.

- **Notlösung: Versuch den Preis in Korrelation zur Druckdifferenz zu bringen.**

Abbildung 12: Modellaufstellung (b)

Fazit

Dieses Problem aus der Antragserstellung ist leider nicht lösbar. Demzufolge beinhaltet der Leitfaden zur qualitativen Schätzung der CO₂-Emissionen nur die soeben beschriebenen Ansätze und theoretische Konstruktionen. Jedoch konnte mit Hilfe der gesammelten Daten eine Bestätigung der Notwendigkeit eines Produktökolabels gegeben werden.

Im Rahmen einer sehr vereinfachten Ökobilanz wurden für einen gängigen aktuellen Filter die Werte erhoben. Die Ökobilanz beschränkt sich im Anwendungsfall auf die Vor-, Nutzungs- und Nachphase. Jedoch in der Vornutzungsphase allein auf die eingesetzten Materialien und deren CO₂-Bilanz der Rohstoffherstellung. Im Rahmen des Projekts war keine exakte Umrechnung der Herstellungsemissionen möglich, die jedoch lt. Aussage von

Experten als gering einzustufen sind. Der einzelne Filter wurde anhand des Gewichts und der verwendeten Materialien (ProBas) ausgewertet. Die Nutzungsphase bestimmt sich durch ein maximales Lastprofil, gekoppelt mit einem durchschnittlichen Energiemix. Die Nachphase beinhaltet, bei einem Druckluftfilter, die Entsorgung des Filtermediums (i.d.R. kann das Gehäuse mehrmals mit einem neuen Medium bestückt werden). Die Filterhersteller geben für ihre Filter ein Wartungsintervall von einem Jahr an, das wiederum Einfluss auf die Nutzungsphase besitzt.

Für den indirekten Verbrauch an Strom ist als Beispiel ein gängiger Kompressor verwendet worden. Es zeigt sich in den Berechnungen deutlich, dass die Nutzungsphase die anderen Phasen enorm dominiert. Diese Berechnungen eignen sich für den Vergleich von unterschiedlichen Filtern (deren Druckdifferenz) bekannt sein muss. So ist aus wirtschaftlicher Sicht ein Vergleich der einzelnen Filter möglich. Erweitert wurde dies um die CO₂-Emissionen, die in den einzelnen Phasen anfallen. Auch hier ist die Nutzungsphase dominierend, es sei angemerkt, dass dies stark durch den verwendeten Energiemix beeinflusst wird.

Richtet sich die Betrachtung auf eine Periode, so wirkt demzufolge im Vergleich zu mehreren Perioden (z.B. 10) die Anschaffungskosten deutlicher, da in den Folgeperioden nur die Wartung anfällt. Die Berechnungen lassen den Vergleich zu, wie schlecht ein Filter sein darf, jedoch unter monetären Gesichtspunkten ebenbürtig mit dem eines guten Filters. So zeigt sich, dass die ökologische Betrachtung sinnvoll sein kann, da mit gleichem finanziellen Einsatz ein geringerer CO₂-Ausstoß möglich ist (siehe Abbildung 15)

Betrachtung des Druckluftfilters im gesamten Lebenszyklus

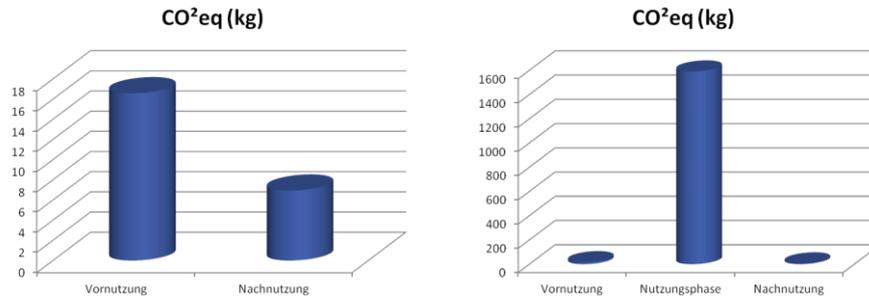
- Vorphase
- Nutzungsphase
- Nachphase

- Daten durch Bereitstellung von Herrn Schuster
 - Aufsplittung der Druckluftkomponenten
 - Gewicht
 - Material

- Daten (CO₂-Äquivalent von PROBAS – Umweltbundesamt)

Abbildung 13: Betrachtung des Druckluftfilters im gesamten Lebenszyklus

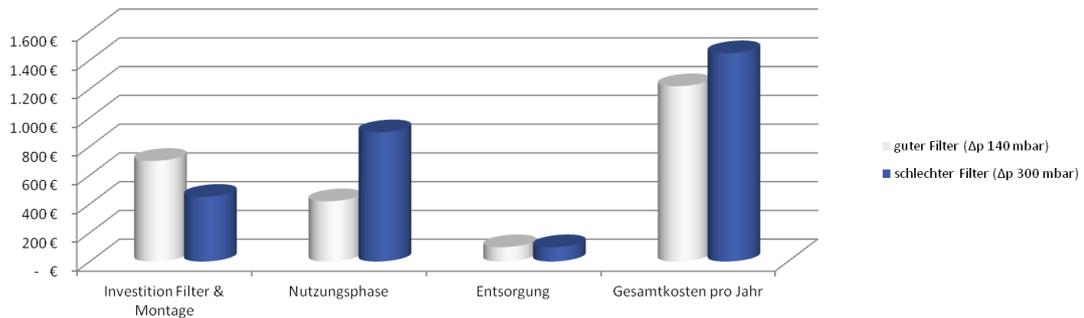
Lebenszyklusbetrachtung – eine Periode



- Gegenüberstellung der drei Phasen
- Vornutzung und Nachnutzung sind im Vergleich zur Nutzungsphase „fast“ zu vernachlässigen

Abbildung 14: Lebenszyklusbetrachtung (CO₂-eq)

Lebenszyklusbetrachtung – eine Periode



	guter Filter (Δp 140 mbar)	schlechter Filter (Δp 300 mbar)
Investition Filter & Montage	700€	450€
Nutzungsphase	419€	899€
Entsorgung	100€	100€
Gesamtkosten pro Jahr	1.219€	1.449€
CO ² -LCA	1614,26 kg CO ² /Jahr	3432,23 kg CO ² /Jahr

Abbildung 15: Lebenszyklusbetrachtung (Finanzsicht)

Lebenszyklusbetrachtung - Fallunterscheidung

Betrachtungszeitraum: 10 Jahre

1. Guter Filter teurer im Vgl. zum „schlechten“ Filter = wesentlich höhere mbar Druckdifferenz
2. Lebenszykluskosten identisch, jedoch deutliche Klimaschädigung

	gut	schlecht
mbar	140	208
Investition Filter & Montage	1.000 €	600 €
Wartungskosten	1.000 €	600 €
Entsorgung	100 €	70 €

Abbildung 16: Fallunterscheidung

Lebenszyklusbetrachtung - Fallunterscheidung

1. Guter Filter teurer im Vgl. zum „schlechten“ Filter = wesentlich höhere mbar Druckdifferenz

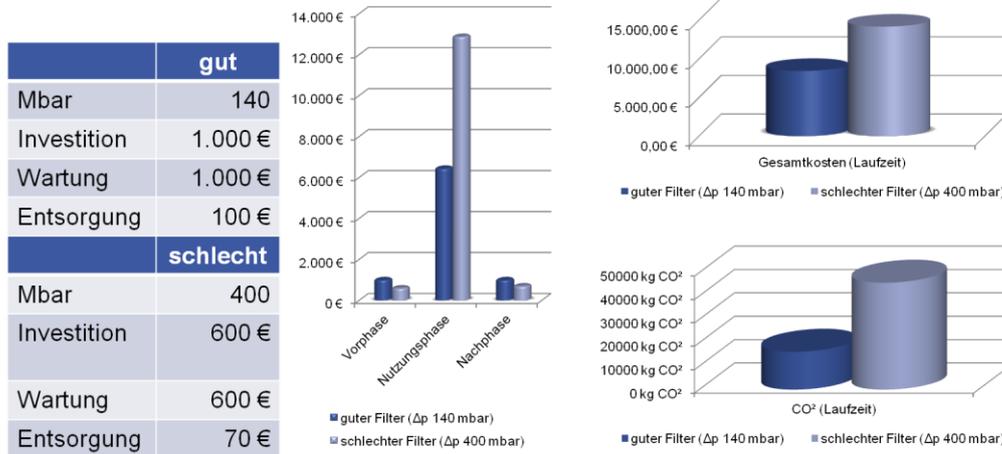


Abbildung 17: Fallunterscheidung (2)

Lebenszyklusbetrachtung- Fallunterscheidung

2. Lebenszykluskosten identisch, jedoch deutliche Klimaschädigung

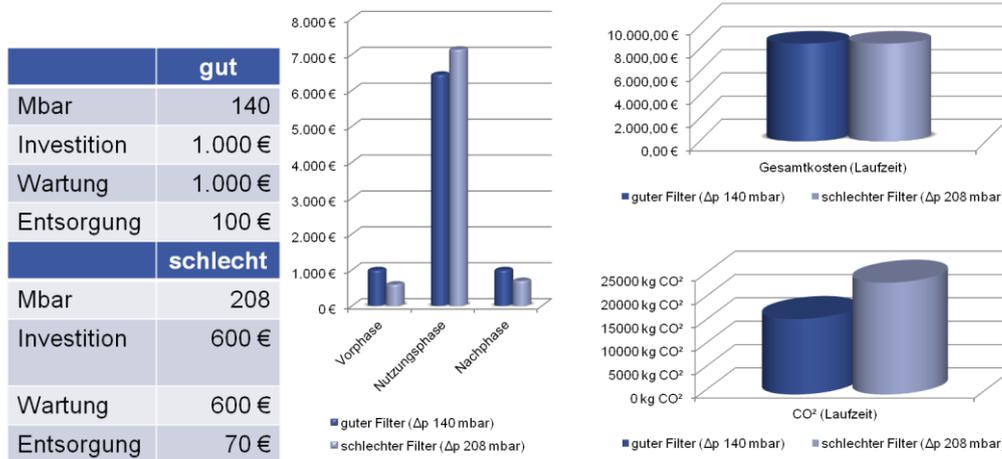


Abbildung 18: : Fallunterscheidung - Auswertung

Anmerkungen:

„Erarbeitung eines Schätzvorgehens für Produkte ohne CO₂-Angabe“

Arbeitspaket 3	Erarbeitung eines Schätzvorgehens für Produkte ohne CO ₂ -Angabe		
Dauer	5 Monate	Personaleinsatz	IPRI 4 PM IUTA 2 (HPA A) / 2 (HPA B) PM
Vorgehen	<ul style="list-style-type: none"> Vergleich mehrerer Ansätze vereinfachter Ökobilanzen und Auswahl eines geeigneten Ansatzes für die Filterbranche Anpassung des ausgewählten Ansatzes für den Anwendungsfall Druckluftfilter Validierung der Methode an drei verschiedenen Anwendungsbeispielen durch Messung und Vergleich der tatsächlichen mit den geschätzten Emissionen 		
Eingesetzte Methoden	<ul style="list-style-type: none"> Instrumente zur Erstellung vereinfachter Ökobilanzen („Streamlined LCA“) wie die „Life-cycle Design Strategy (LiDS)“ oder „Eco-Compass“ statistische Bewertung 		
Ergebnisse	<ul style="list-style-type: none"> Leitfaden zur qualitativen Schätzung der CO₂-Emissionen 		

Laut Antrag wurde für Arbeitspaket 3 ein Schätzvorgehen für Produkte ohne CO₂ Angabe versprochen. Das Projekt sieht für die ersten Arbeitspakete den Fokus auf die Arbeitsphase des Filters. Naturgemäß verursacht der Filter keinen eigenen CO₂-Ausstoß, sondern indirekt durch die Mehrbelastung des Kompressors. Diese Mehrleistung wird durch die Druckdifferenz ausgelöst. Die Luft muss durch den Filter strömen, dabei muss die komprimierte Luft einen Strömungswiderstand überwinden. Dieser Strömungswiderstand kommt durch die Beschaffenheit des Filtermaterials, der Gehäuseführung und des ganzen Filterdesign zustande.

Es wurden mehrere Ansätze der vereinfachten Ökobilanzen analysiert, jedoch mit dem Entschluss eine sehr vereinfachte Form der Ökobilanz anzuwenden, welche wiederum mit einer Annahme zur indirekten Erfassung der CO₂-Emissionen erweitert worden ist. Die vereinfachten Ökobilanzkonzepte müssen um indirekte Emissionen

(nicht zu verwechseln mit der Scope Betrachtung nach dem Treibhausgesetz) erweitert werden. Da der Filter an sich keine Emissionen während der Nutzung generiert, jedoch alleinig für den Mehrverbrauch an Energie durch den Druckluftkompressor verantwortlich ist, muss dieser Anstieg in die Berechnung einfließen. Ein Druckluftfilter erzeugt durch seinen Aufbau einen Gegendruck bzw. Druckverlust, dieser muss dem Druckluftdruckbedarf hinzuaddiert werden. Beispiel: ein Filter weist eine Druckdifferenz von 500 mbar auf, die Verbraucher im Druckluftnetz benötigen einen Betriebsdruck von 7,5 bar. Dies hat zur Folge, dass der Kompressor 8 bar an Druckluft bereitstellen muss (entspricht einer Mehrarbeit von 6,6%). Diese Mehrarbeit kann direkt auf die anteilige Stromaufnahme des Kompressors verrechnet werden. Durch die indirekte Erfassung ist auch ein CO₂-Ausweis möglich, da die Stromzusammensetzung in der Regel bekannt ist. Um einen Vergleich verschiedener Druckluftfilter ziehen zu können sind einige Parameter zu standardisieren. Die Betriebsdruck der Verbraucher, der Kompressor und die Auslastung über einen gewissen Zeitraum müssen standardisiert bzw. konstant sein. Weicht hingegen eine der Kennzahlen ab, ist ein Vergleich verschiedener Ökobilanzen von Druckluftfiltern nicht möglich. Bei der praktischen Anwendung ist das größte Problem die Erfassung der Druckdifferenz. Da im Normalfall Filterhersteller diese Kennzahl nicht angeben und für den Endverbraucher eine Messung schlichtweg unmöglich ist, außer die Druckluftanlage ist mit Messtechnik versehen.

Der dritte und letzte Arbeitsschritt des Arbeitspakets beschäftigte sich mit der Validierung des Schätzvorgehens. Hierfür wurden die umfangreichen Messungen von IUTA verwertet. Anhand der durch Experteninterviews ermittelten Emissionstreiber wurde der Versuch angestellt ein Regressionsmodell aufzustellen. Dieses Modell bestand aus fünf für wichtig erachtete Emissionstreiber (top5), darunter die Gehäusegröße, das Filtermaterial, die Art der Filterbeschaffenheit, das Hohlraumvolumen und die Durchsatzleistung des Filters. Mittels dieser Emissionstreiber und dem gewünschten Abscheidegrad wurde ein Regressionsmodell aufgestellt. Es sei an dieser Stelle angemerkt, dass dieses Schätzvorgehen für den Verbraucher mit zugänglichen Daten realisierbar sein soll. Diese Informationsanforderungen der fünf Emissionstreiber sind teilweise nicht auf dem Produktdatenblatt der Filter aufgeführt, sodass eine Endanwenderlösung mit diesen fünf Treibern nicht sinnvoll erscheint.

Bei der Auswertung der Regression ist kein plausibler Zusammenhang zwischen Eingabe und Ausgabe erkennbar. Im Nachhinein wurde im Projekt festgestellt, dass die fünf Emissionstreiber nicht maßgeblich für die Druckdifferenz des Filters verantwortlich sind. Es ist, wie auch von führenden Herstellern von Druckluftfiltern bestätigt die Strömungsführung der Druckluft von der druckführenden Leitung in das Filtergehäuse und durch das Filtermedium. Dieses Merkmal ist jedoch für den Verbraucher nicht erkennbar und auch nicht von außen ersichtlich.

Ein vereinfachter Ansatz war die Kombination der Messwerte mit dem Preis. Selbst dieses Verfahren funktioniert nur teilweise, setzt man die Relation eines guten europäischen Filters (mit hohem Preis) ins Verhältnis zu einem (wie im Antrag erwähnt) asiatischen Filter (geringer Preis, bei hoher Druckdifferenz), so stimmt die Gleichung. Diese plakative Gleichung stimmt jedoch, wenn man das Segment der hochpreisigen Filter anschaut, nicht mehr, da hochpreisige Filter kein Garant für geringe Druckdifferenzen sind. Somit ist nur im Extremfall der Umkehrschluss richtig: Je teurer desto geringer die Druckdifferenz, schaut man sich hingegen einzelne Segmente an stimmt dies schon nicht mehr.

Es bleibt also festzuhalten:

- Fehlende Datenbereitstellung durch Produktdatenblätter
- Offensichtliche Produktinformationen dienen nicht zum Vergleich
- Anwender nicht in der Lage von außen zu bewerten
- Preis kein alleiniges Merkmal

Dieses Problem aus der Antragserstellung ist leider nicht lösbar. Demzufolge beinhaltet der nachfolgende Leitfaden zur qualitativen Schätzung der CO₂-Emissionen nur die soeben beschriebenen Ansätze und theoretische Konstruktionen.



Carbon Management

Katalog von Kenngrößen zu Emissionstreiber in der Nutzungsphase

Emissionstreiber

Kenngröße, die stark mit den CO₂-Emissionen bzw. dem Energieverbrauch des Filters sowie der Druckluftstation korrelieren.

Der Druckluftfilter verursacht nur indirekt CO₂-Emissionen, demzufolge sind nur Kenngrößen mit Bezug zur mbar Druckdifferenz zu identifizieren.

Aufbau Druckluftstation:

Antrieb → Kompressor → Verteilsystem → Druckluftbehandlung → Endverbraucher
(Radgen und Blaustein 2001)

Emissionstreiber - Zusammenstellung

Zusammenstellung durch

- Literatur
- Expertenbefragung

Emissionstreiber - Zusammenstellung

Kompressor (Kompressionsverluste):

- Wirkungsgrad niedrig (Rbayti 2013)
- Unangepasst an Laufverhalten, schlechte Auslastung (Volumenstrom und Verbrauchsspitzen) → Leerlaufzeiten (keine Erzeugung von Druckluft, aber Aufnahme von 30 % der Nennleistung, Überdichtung (je bar steigt Leistungsaufnahme um 6-8 %) (Rbayti 2013) (Weiss 2009)
- Ölfreie Kompressoren (Lämmer 2012)
- Wassergekühlte Kompressoren (Lämmer 2012)

Kompressor - Steuerung:

- Einsatz von Drosselregler (auch bei Nullförderung Energiebedarf noch 70 % der Nennleistung) (Lämmer 2012)

Emissionstreiber - Zusammenstellung

Kompressor - Leckagen:

- Im Kompressor: schwimmgesteuerte Kondensatableiter, undichte Ventile

Druckluftspeicher:

- Zu kleine Druckluftbehälter

Verteilsystem:

- Zu lange Schlauchleitungen
- Zu klein dimensionierte Querschnitte D
- „Wildwuchs“ → ungeeignete Netzerweiterungen mit neuen Leitungen und Verbrauchsstellen
- Stichleitungen
- Stichleitungen
- Je höher die Strömungsgeschwindigkeit v , desto höher der Turbulenzgrad (turbulente Strömung vs. energetisch vorteilhaften laminaren Strömung), desto höher der Druckverlust (Volumenstrom V , Querschnittfläche A):

Emissionstreiber - Zusammenstellung

Verteilsystem - Rohrleitung:

- 2D-Boden
- 3D-Bogen
- T-Stück
- Reduzierung
- Erweiterung
- Abzweigung (T-Stück)
- Flanschverbreiterung
- Enge Leistungskrümmung
- Zusätzliche Armaturen & Anschlüsse
- Sitzventile
- Kugelhähne ohne vollen Durchgang
- Strömungsgünstig

Emissionstreiber - Zusammenstellung

Verteilsystem - Leckagen:

- Leitung
- Flansche
- Schlauchkupplung
- Verschraubungen
- Druckluftwerkzeuge → falsch dimensionierte Düsen, ungenügende Wartung von Schnellkupplungen und Verschleißteile, v.a. aus Messing
- Kondensatablass
- Undichte Steckkupplungen

Druckluftaufbereitung:

- zentrale Aufbereitung, wobei differente Luftqualität für unterschiedliche Anforderungen gestellt werden

Emissionstreiber - Zusammenstellung

Druckluftaufbereitung - Trockner:

- Adsorptionstrockner, da Energieeinsatz zur Regeneration des Trockenmittels nötig
- Aufstellung vor Druckluftbehälter ungünstig, da großer Teil des Kondensats bereits in Druckluftbehälter ausfällt

Druckluftaufbereitung - Filtermedium:

- Einschichtiger, gewickelter Lagenaufbau (geringe Aufnahmekapazität)
- Fasern mit geringer Oberfläche, große Fasern (geringe Aufnahmekapazität)
- Einsatz rel. große Mikrofasern
- Einsatz von Bindemitteln
- Verschmutzte Filtermedien
- Unnötig hoher Filtrationsgrad
- Einsatz zeitgesteuerter Kondensatableiter

Emissionstreiber - Zusammenstellung

Endverbraucher:

- Niedrigdruckanwendungen (1-2 bar) → Verwendung von Druckminderer

Endverbraucher - Leckagen:

- Innere Leckagen bei Fertigungsanlagen

Emissionstreiber - Zusammenstellung

POSITIVE AUSWIRKUNGEN AUF ENERGIEEFFIZIENZ

Antrieb:

- Einsatz von drehzahlvariablen Antrieben
- Hocheffiziente Motoren

Kompressor:

- Optimierung des Laufverhaltens → Reduktion der Schaltzyklen und Leerlaufzeiten
- Anpassung an Liefermenge, Netzdruck und Regelmäßigkeit des Bedarfs

Emissionstreiber - Zusammenstellung

Kompressor:

- Öleingespritzte Kompressor
- Luftgekühlte Kompressoren (30 % niedrigerer Energieverbrauch als wassergekühlte Kompressoren)
- Ausschalten während Betriebsruhe

Kompressor-Steuerung:

- Verwendung effizienter, übergeordneter Steuermechanismen
- Übergeordnete Steuerung mehrerer Kompressoren im Verbund oder kompressorinterne Steuerung: Einsprung durch Reduktion des Leerlaufstroms, Regelverluste, Senken des maximalen Betriebsdruck durch schmales Druckband (Differenz aus Einschaltdruck - Ausschaltdruck)

Druckluftspeicher:

- Je größer der Druckluftspeicher, desto größer die Schaltdifferenz, desto länger arbeitet der Kompressor am Stück → Reduktion von Verschleiß und Energie

Emissionstreiber - Zusammenstellung

Verteilsystem:

- Mehrdruckanlagen → Anpassung an Ansprüche der Endverbraucher
- Verteilereingang 1 Zoll, Ausgang ½ Zoll

Verteilsystem - Rohrleitung:

- Lange Bögen und Hosenstücke

Druckluftaufbereitung:

- dezentrale Aufbereitung

Druckluftaufbereitung - Trockner:

- Kältetrockner

Emissionstreiber - Zusammenstellung

Druckluftaufbereitung - Filtermedium:

- Hightech-Fasern im Nanobereich → plissiertes Filtermedium mit hoher Abscheiderate und großer Aufnahmekapazität (Vergrößerung effektive Oberfläche, Abnahme Strömungswiderstand)
- Vergrößertes Hohlvolumen → Schmutzkapazität → Filterstandzeit
- Mehrschichtiger Lagenaufbau
- Strömungsgerechter Aufbau des Filtermediums und des Filtergehäuses: verwirblungsfrei, strömungsoptimierte Luftführung, gleichmäßige Anströmung des Filterelements
- Regelmäßiger Filterwechsel
- Anpassung der Aufbereitung an Mindestanforderung
- Einsatz elektronisch niveauregulierter Kondensatableiter
- Differenzdruckanzeige

Emissionstreiber - Zusammenstellung

Endverbraucher:

- Austausch gegen elektrische oder hydraulische Systeme

Emissionstreiber - Zusammenstellung

Literaturverzeichnis

Corban, Michael: Selbst Nano-Partikel verschwinden aus der Luft. Filtertechnik: Nano-Medien reinigen Druckluft energiesparend. In: *Industrieanzeiger*.

Kreuzig, Jürgen (2012): Druckluft: Edelenergie mit Potential. Bericht vom Praxisseminar in Kastellaun. In: *LEBENSMITTEL Industrie* 17 (7-8), S. 14–18.

Lämmer, Petra (2012): Druckluft effizient nutzen. Praxisleitfaden für Energieeffizienz und Kosteneinsparung der Industrie- und Handelskammer Nürnberg für Mittelfranken. 1. Aufl. Hg. v. IHK Nürnberg für Mittelfranken.

Radgen, Peter; Blaustein, Edgar (Hg.) (2001): Compressed air systems in the European Union. Energy, emissions, savings potential and policy actions. Stuttgart.

Rbayti, Abdel (2013): Druckluftfiltration und die Norm ISO 12500. In: *Chemie Technik* (11).

Weiss, Andreas P. (2009): Forschungsbericht 2008/2009. Energiesparpotentiale bei Druckluftsystemen und -anwendungen. Hg. v. Hochschule Amberg-Weiden. Hochschule Amberg-Weiden. Amberg-Weiden.



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Betreut von:



Carbon Management

Wirkungszusammenhänge der Emissionstreiber

- **Emissionstreiberbaum**

- Wirkungszusammenhänge der Emissionstreiber

Emissionstreiberbaum

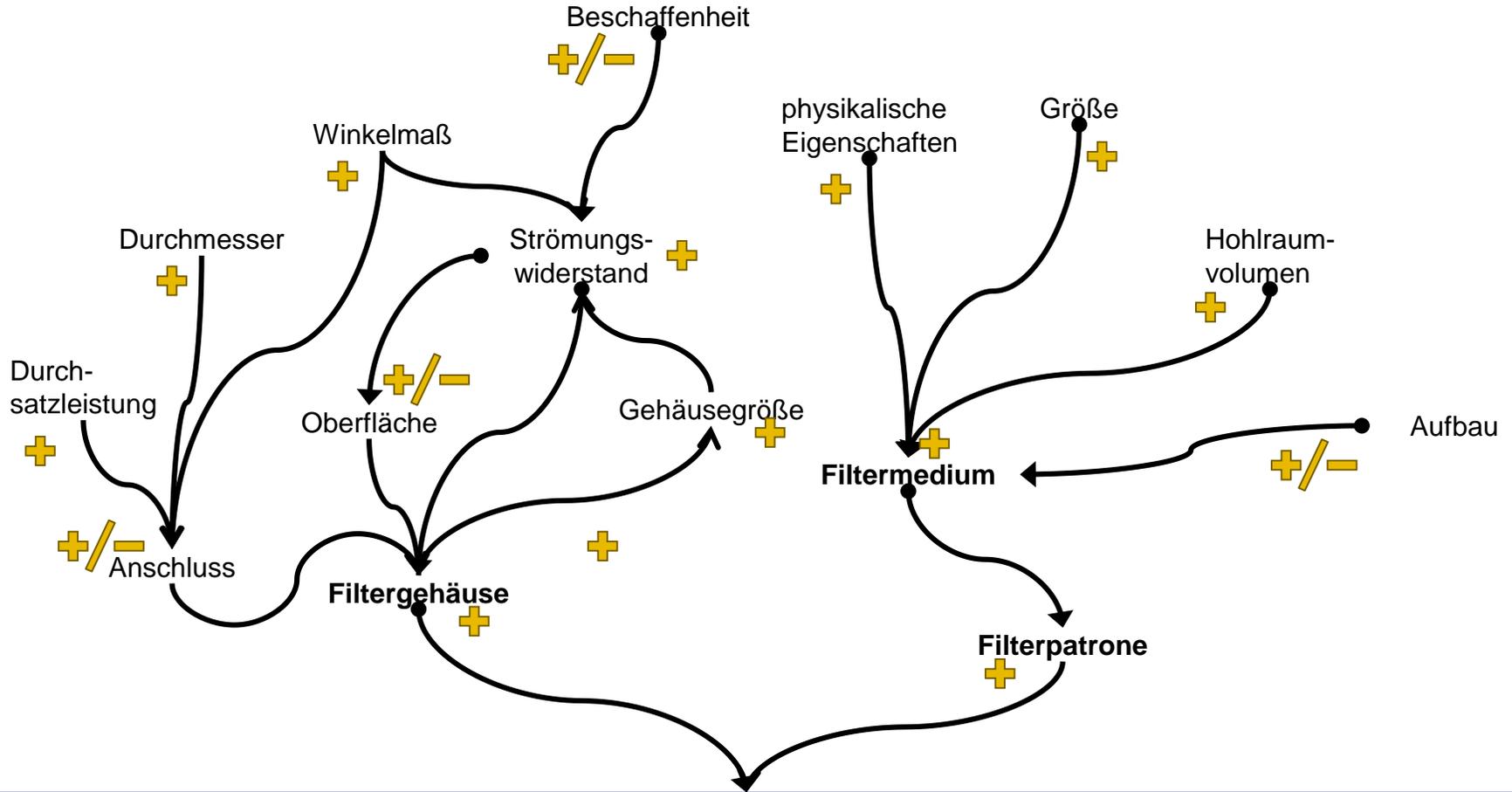
Analyse der Emissionstreiber auf gegenseitige Abhängigkeit und Stärke der Korrelation.

Der Filter verursacht nur indirekt Emissionen, dies ist durch den Gegendruck des Filters bestimmt. Die Emissionstreiber (Verweis auf den Katalog von Kenngrößen zu Emissionstreibern in der Nutzungsphase) sind in der Summe für die Druckdifferenz verantwortlich. Interne Emissionstreiber (durch die Bauart des Filters bestimmt) sind nachfolgend der Wirkungszusammenhänge zugeordnet.

Externe Emissionstreiber, wie z.B. der Verschleiß bzw. Alterung sind nicht abzubilden. Denn beide Faktoren sind von Außen nicht ersichtlich, wäre dies der Fall wäre mittels Sichtprüfung diese Emissionstreiber abzuschaffen. Dem ist leider nicht so, die einzige Möglichkeiten um diese zu erfassen stellen Messmethoden (siehe Arbeitspaket 5) dar.

Es lassen sich auch keine Faustformeln aus Expertengespräche ableiten, da alle Faktoren vom Einzelfall abhängig sind. Ist die Ansaugluft sehr sauber, der Kompressor verschleißfrei, so ist der Eintrag an Verschmutzungen in der Druckluft sehr gering. Demzufolge kann ein Filter mehrere Jahre ohne Wartung auskommen, bei sehr schmutzinger Luft ist der Verschleiß natürlich deutlich schneller. Auch ein zerstörtes Filtermedium (keinerlei Druckdifferenz) lässt sich nur mittels Messungen in Erfahrung bringen.

Emissionstreiberbaum



CO2-Emissionen

- Emissionstreiberbaum

- **Wirkungszusammenhänge der Emissionstreiber**

Katalog von Kenngrößen zu Emissionstreibern in der Nutzungsphase



Mithilfe von Experteninterviews und einer ausführlichen Literaturrecherche wurden wesentliche Emissionstreiber bei der Druckluftherstellung eruiert. Unter Emissionstreiber versteht man Kenngrößen, die maßgeblich für CO²-Emissionen verantwortlich sind. Das Projekt Carbon Management versteht unter Emissionen, den CO²-Ausstoß, welcher durch die Druckdifferenz (in mbar) vom Filter ausgehend ist. Denn für den Gegendruck bzw. den Druckverlust muss der Kompressor mehr Arbeit verrichten, sodass dieser indirekte Mehrverbrauch alleinig dem Druckluftfilter zuzuschreiben ist.

Durch Experteninterviews wurde eine Vielzahl an Emissionstreiber erhoben. Welche anschließend durch technische Überlegungen teilweise revidiert werden mussten.

Als die wichtigsten identifizierten Komponenten werden das Gehäuse und das Filtermedium angesehen. Jedoch wurde bei Expertengespräche noch eine Vielzahl (siehe Tabelle 1: Emissionstreiber - Expertensicht) von Emissionstreibern, die aus Anwendungssicht Emissionstreiber sein müssten, genannt. Diese werden nachfolgend näher betrachtet. Diese Treiber wurden den Haupttreibern, Gehäuse und Medium zugeordnet:

Katalog von Kenngrößen zu Emissionstreibern in der Nutzungsphase



Tabelle 1: Emissionstreiber - Expertensicht

Emissionstreiber des Filtergehäuses
Durchmesser des Druckluftanschlusses
Strömungswiderstand
Oberflächenrauigkeit
Gehäusegröße
Emissionstreiber des Filtermediums
Größe des Filterelements
Hohlraumvolumen
Physikalische Eigenschaften des Filtermediums
Aufbau des Filterelements

Katalog von Kenngrößen zu Emissionstreibern in der Nutzungsphase



Es zeigte sich beim Filtergehäuse, dass der Durchmesser des Druckluftfilteranschlusses oftmals falsch oder unterschiedlich dimensioniert ist, sodass dies für einen erheblichen Druckverlust verantwortlich ist (siehe Abbildung 4: Anschlussgröße 1" auf 1/2"). Die Lösung für diesen Emissionstreiber ist ein wohl dimensionierter durchgängiger Anschluss. Die Reduzierung eines Anschlusses von 1" auf 1/2" (freier Querschnitt um 65% reduziert) verringert den Eingangsdruck von 8 bar auf 7,5 bar. Dieser Druckabfall führt zu Emissionen, da der Kompressor, den Druckverlust ausgleichen muss.

Als weiterer Emissionstreiber wird der Strömungsführung gesehen, dieser Emissionstreiber tritt häufig bei verwinkelten Bauteilen auf. Hierzu folgt im Anschluss an die Emissionstreiberbetrachtung ein gesonderter Abschnitt. In der Praxis findet man häufig senkrechte Anschlüsse zum Filterelement und ein waagrechter Anschluss zur Druckrohrleitung. Durch die orthogonal liegenden Leitungen kommt es zur Ausbildung eines T-Elements. Dieser 90° Winkel wirkt sich negativ auf den Strömungswiderstand aus. Würde man die Strömungsführung anpassen z.B. mit Hilfe eines strömungsgünstigen Bogens, so könnte man die Druckdifferenz um den Faktor 0,9 senken. Ein Bogen hat im Vergleich zum Winkel einen um 75% reduzierten Strömungswiderstand.

Katalog von Kenngrößen zu Emissionstreibern in der Nutzungsphase



Abbildung 1: Schnittbild eines Druckluft-Filters

(Großer, 1968, S. 29)

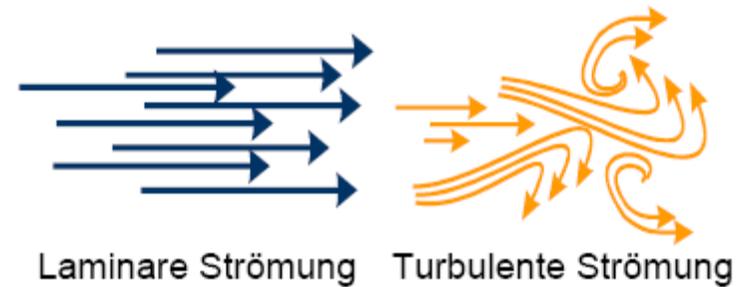
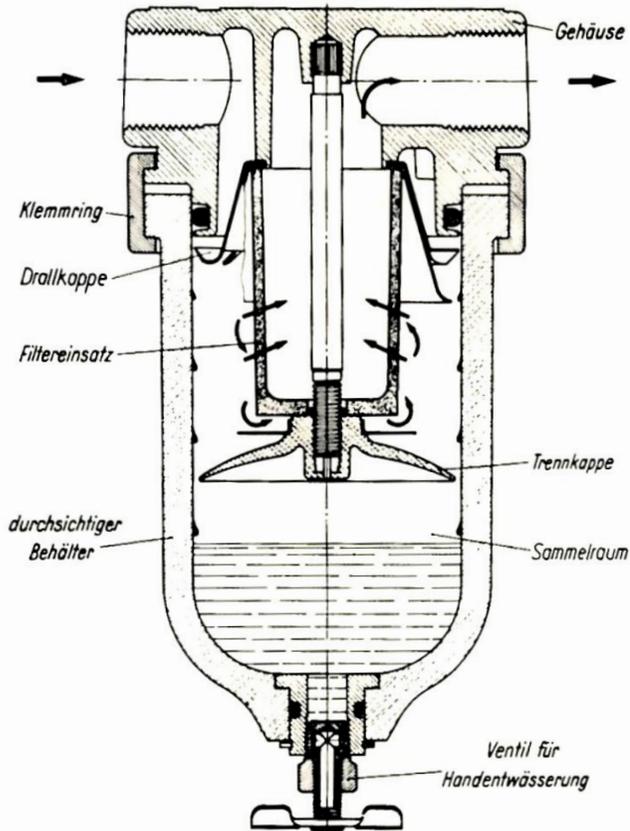


Abbildung 2: laminare vs. turbulente Strömung

(Fraunhofer ISI, 2003)

Katalog von Kenngrößen zu Emissionstreibern in der Nutzungsphase



Die Oberflächenbeschaffenheit im System kann zusätzlich den Strömungswiderstand (siehe Abbildung 2: laminare vs. turbulente Strömung) beeinflussen. Dieses Problem hat zwei Ursachen, zum einen sind durch den Herstellungsprozess keine glatten Oberflächen entstanden, oder durch Korrosion. Der Feuchtigkeitseintrag und der Einfluss schwefeliger Säure ($\text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_3$) in der Druckluft lässt ungeschützte Oberflächen korrodieren (siehe Abbildung 3: Luftverschmutzung 2011 Deutschland). Somit stellen die Bestandteile der Luft ein großes Problem für das Leitungsnetz dar, je nach Material kommt es zu einer verstärkten Rostbildung. Dies kann je nach Anwendung zu einem erhöhten Ausschuss führen (z.B. Lackierungen), des weiteren führt Rostbildung zu einem erhöhten Verschleiß der Werkzeuge, da Rostpartikel durch die strömende Druckluft gelöst werden können und dies den Schmierfilm innerhalb der Werkzeuge regelrecht abwaschen kann.

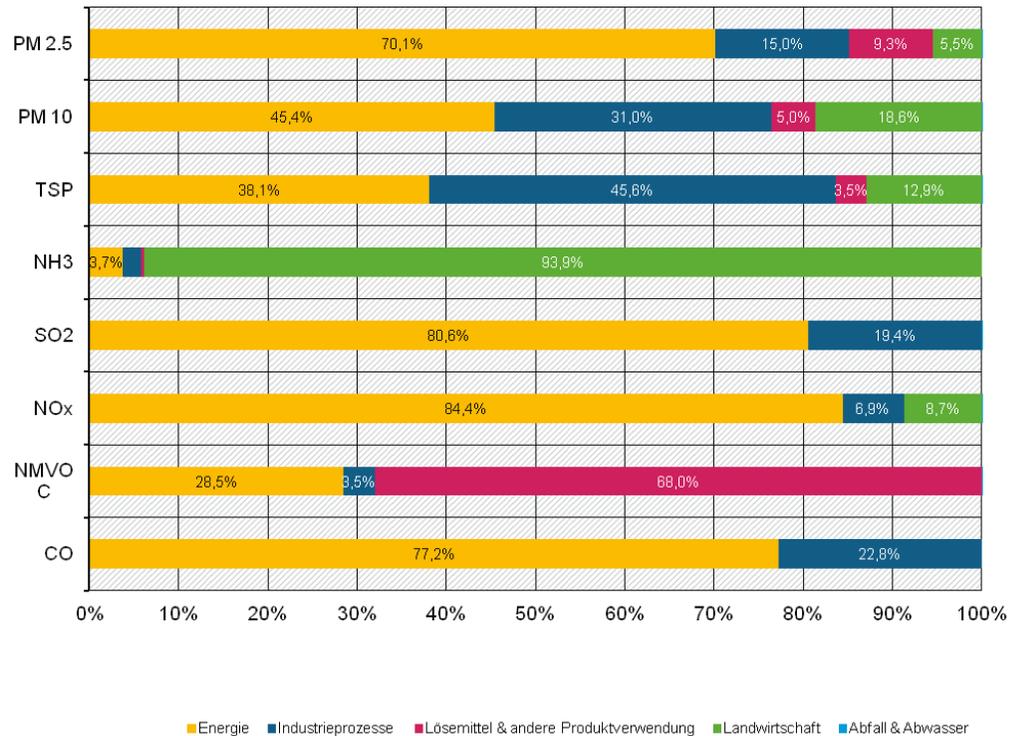
(Ruppelt, 2003, S. 176)

Katalog von Kenngrößen zu Emissionstreibern in der Nutzungsphase



Abbildung 3: Luftverschmutzung 2011 Deutschland

(Umweltbundesamt, 2011)



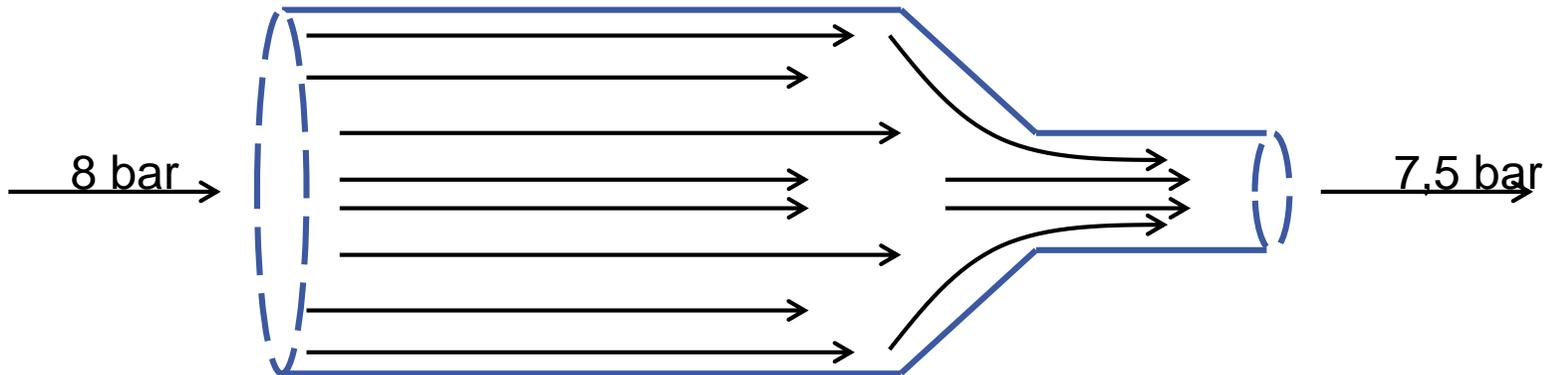
Katalog von Kenngrößen zu Emissionstreibern in der Nutzungsphase



Hier gilt die Faustformel, je rauer die Oberfläche, desto ungünstiger ist die Luftführung und somit auch der Strömungswiderstand.

Die Gehäusegröße kann für die vorher genannten Emissionstreiber mitverantwortlich sein, denn die Gehäusegröße gibt maßgeblich die Voraussetzungen für die Strömungsführung und die Anschlussgröße. Auch hier gilt je größer das Gehäuse, desto mehr Raum steht dem Anschluss und auch der Strömungsführung zur Verfügung.

Abbildung 4: Anschlussgröße 1" auf 1/2"



Katalog von Kenngrößen zu Emissionstreibern in der Nutzungsphase



Das Filtermedium an sich liefert weitere Emissionstreiber (siehe Tabelle 1: Emissionstreiber - Expertensicht): In der Praxis gilt immer der Trade-Off aus sehr guter Filterleistung und geringer Druckdifferenz zu meistern, so besitzen z.B. Filter mit einem einschichtigen, gewickelten Lagenaufbau zwar einen geringeren Druckverlust, jedoch ist hier auch eine geringe Aufnahmekapazität zu verzeichnen. Gleiches gilt für Filtermedien, bei denen die Fasern eine geringe Oberfläche aufweisen.

Die Größe des Filterelements hat wesentlichen Einfluss auf den Druckverlust, hierbei gilt: je größer das Filterelement, desto größer ist dessen Oberfläche und daraus resultiert ein geringerer Druckverlust. Dieser Treiber steht in Korrelation mit der Gehäusegröße, denn je größer das Gehäuse, desto größer kann das Filtermedium sein. Das Hohlraumvolumen hat auch einen Effekt auf die Druckluftströmung, je mehr Raum der Druckluft zum durchströmen des Mediums gegenüber steht, desto niedriger ist der Strömungswiderstand und folglich auch ein geringer Druckverlust. Als ideale Lösung müssen das Hohlraumvolumen und die Größe des Filterelements aufeinander angepasst sein, um eine maximale Reduktion des Druckverlustes zu erreichen. (Rbayti, 2013)

Katalog von Kenngrößen zu Emissionstreibern in der Nutzungsphase



Auch bei kleinen Filtern, muss im Umkehrschluss auch das Hohlraumvolumen für einen minimalen Druck reduziert werden. Das Hohlraumvolumen spiegelt sich auch in der physikalischen Eigenschaft des Filtermediums wieder, denn ein hydrophobes (wasserabweisendes) Material vermindert die Ansammlung von Feuchtigkeit im Filtermedium (Fasern des Filters) und hilft dadurch das Hohlraumvolumen aufrecht zu erhalten. Diese Eigenschaft ist besonders wichtig bei Koaleszenzfilter (siehe Abbildung 5: schematische Darstellung der Filterwirkung (Partikel- und Koaleszenzfilter)). Der Aufbau des Filterelements ist besonders relevant für die Abscheideleistung eines Filters. Die Anzahl der Filterlagen bestimmt die Abscheideleistung, hier gilt allgemein, dass mit steigender Abscheideleistung auch der Druckverlust steigt. Bei Koaleszenzfilter ist der Aufbau der Filterlagenstärke von Belang, hingegen bei Partikel- bzw. Aktivkohlefiltern nicht.

Es sei an dieser Stelle schon einmal angemerkt, dass die Filtration stets auf die geforderte Druckluftqualität angepasst sein muss, da eine unnötig gereinigte Druckluft sehr hohe Kosten verursacht.

(Lämmer, 2012)

Katalog von Kenngrößen zu Emissionstreibern in der Nutzungsphase



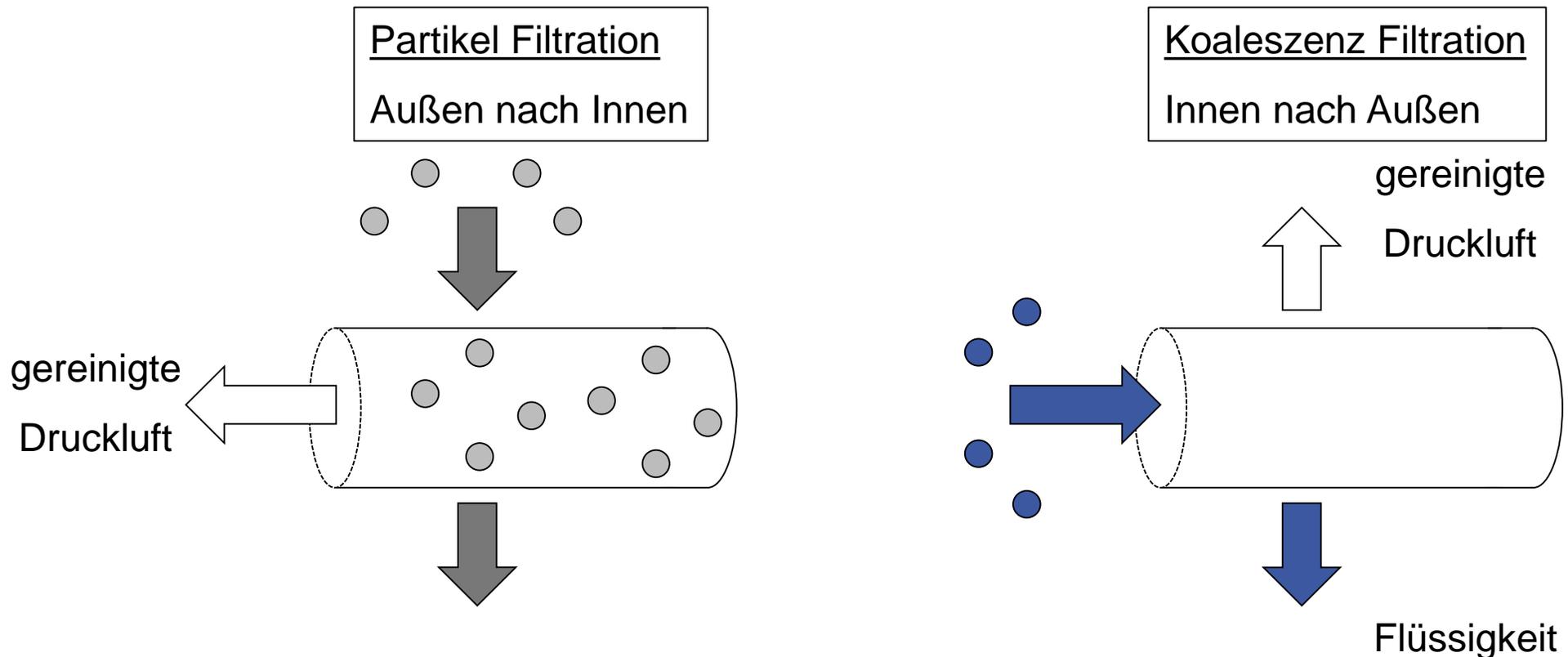
Die erste Lage sollte sehr dick und auch ein geringes Hohlraumvolumen aufweisen, dies fördert die Koaleszenz der Tröpfchen. Die nachfolgenden Lagen sollten von der Dicke stetig abnehmen bzw. offenerporiger werden, damit die Tröpfchen von innen nach außen anwachsen können (siehe hierzu Abbildung 6: Aufbau).

Katalog von Kenngrößen zu Emissionstreibern in der Nutzungsphase



Abbildung 5: schematische Darstellung der Filterwirkung (Partikel- und Koaleszenzfilter)

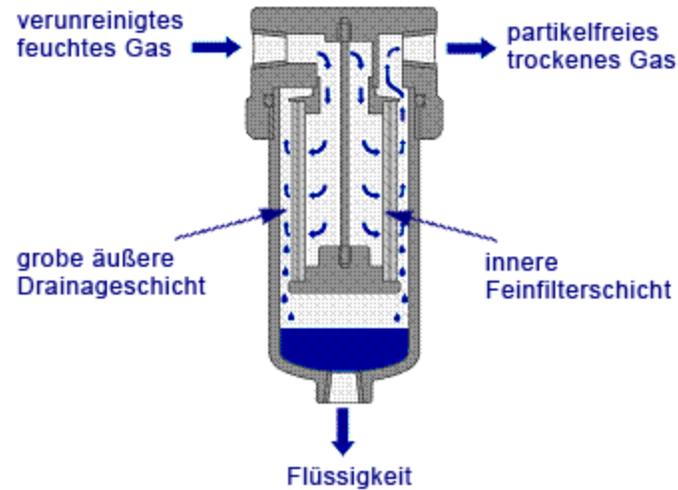
(SUN-Control-Analytik GmbH, 2013)



Katalog von Kenngrößen zu Emissionstreibern in der Nutzungsphase

Abbildung 6: Aufbau Koaleszenzfilter

(Dipl.-Kfm. Stock, 2014)



Katalog von Kenngrößen zu Emissionstreibern in der Nutzungsphase



Das Hohlraumvolumen bezeichnet den freien Raum des Filtermediums der zur Durchströmung dient (siehe Abbildung 7: Hohlraumvolumen - Filtermedium).

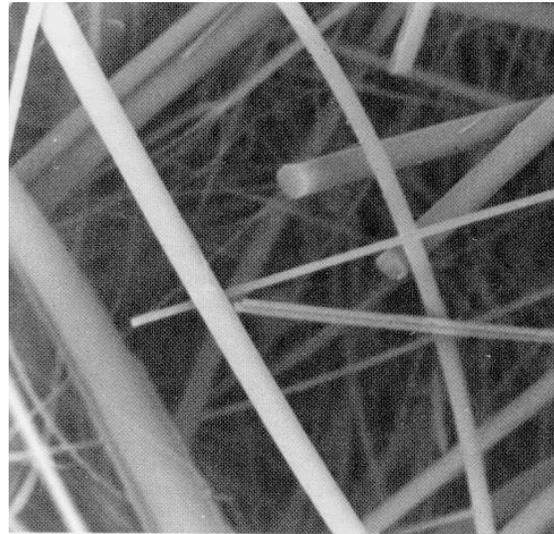
Die soeben aufgezählten Emissionstreiber haben aber nicht alle die gleiche Wirkung auf den Gesamtdruckverlust, den ein Filter verursacht. Als maximale Einflussgröße für den Gesamtdruckverlust ist der Strömungswiderstand anzusehen, er macht laut Expertenmeinung zwischen 30 und 40% des Gesamtdruckverlustes aus.

Katalog von Kenngrößen zu Emissionstreibern in der Nutzungsphase



Abbildung 7: Hohlraumvolumen - Filtermedium

Muss noch nachgetragen werden (stammt aus einer Pressefolie von BEKO - Vortrag über mbar Verlust)



Katalog von Kenngrößen zu Emissionstreibern in der Nutzungsphase



Katalog von Kenngrößen zu Emissionstreibern in der Nutzungsphase

Identifizierte Emissionstreiber der Druckluftfilter

- Filtergehäuse
- Filtermedium

Katalog von Kenngrößen zu Emissionstreibern in der Nutzungsphase



Emissionstreiber des Filtergehäuses	Kenngröße	Erklärung	Gesamtdruckverlust* des Filters in %
Durchmesser des Druckluftanschlusses	Durchmesser Durchsatzleistung in m ³ /h	Entscheidend hierbei auch die Gehäusegröße (limitiert den Durchmesser) Ziel: Rohleitung und auch Anschluss sollten den gleichen Durchmesser haben	5%
Strömungswiderstand	Winkelmaß und Beschaffenheit	Winkelmessung (Anschluss Druckrohrleitung -> Anschluss Filterelement) z.B. Bogen statt Winkel senkt den Druckabfall mit dem Faktor 0,9	30-40%
Oberflächenrauigkeit		Strömungswiderstand nimmer durch Korrosion bei ungeschützten Oberflächen zu	sehr geringer Einfluss
Gehäusegröße		Je größer, desto besser der Strömungswiderstand	3%

*Gesamtdruckverlust durch Expertenmeinungen validiert

Katalog von Kenngrößen zu Emissionstreibern in der Nutzungsphase



Emissionstreiber des Filtergehäuses	Kenngröße	Erklärung	Gesamtdruckverlust des Filters in %
Größe des Filterelements		Je größer das Filterelement, desto geringer der Druckverlust (Korrelation mit der Gehäusegröße)	Abhängigkeit mit Hohlraumvolumen
Hohlraumvolumen		Hohlraumvolumen muss in Relation zur Größe des Filterelements stehen → Max. Reduktion des Druckverlusts	Abhängigkeit mit der Größe des Filterelement
Physikalische Eigenschaften des Filtermediums		Hydrophobes Material, keine Wasseransammlung, folglich Hohlraum konstant (insb. bei Koaleszenzfilter)	max. 2%
Aufbau des Filterelements	Anzahl der Filterlagen	Abscheideleistung definiert den Druckverlust, je höher die Filtration desto höher der Druckverlust (nur relevant bei Koaleszenzfilter)	Geringer Einfluss, jedoch weitestgehend bestimmt durch die Abscheideleistung

**Gesamtdruckverlust durch Expertenmeinungen validiert*

Katalog von Kenngrößen zu Emissionstreibern in der Nutzungsphase



Nach der Auswertung der Ergebnisse aus Arbeitspaket 2, sind aus messtechnischer Sicht mehrere Emissionstreiber nicht valide, bzw. nicht eindeutig dem besseren oder schlechteren Differenzdruck zuzuschreiben. Dies führt zu einer neuen Betrachtung des Arbeitspakets 3: Die untersuchten Emissionstreiber aus der Praxis werden nun auf drei Hauptemissionstreiber komprimiert. Als Emissionstreiber des Druckluftfilters werden fortfolgend (siehe Tabelle 2: valide Emissionstreiber) nur noch das Gehäuse, die Filterpatrone und das Filtermedium gesehen.

Komponente	Teilkomponente	Bewertungsgröße	Gewichtung	Optimierung
Gehäuse	Anschlussmaße	Druckverlust	+++	Investition
	Strömungsführung	Druckverlust	+++	Investition
Filterpatrone	Strömungsführung	Druckverlust	+++	Investition
Filtermedium	Geforderte Effizienz	Druckverlust	+++	Labeling

Katalog von Kenngrößen zu Emissionstreibern in der Nutzungsphase



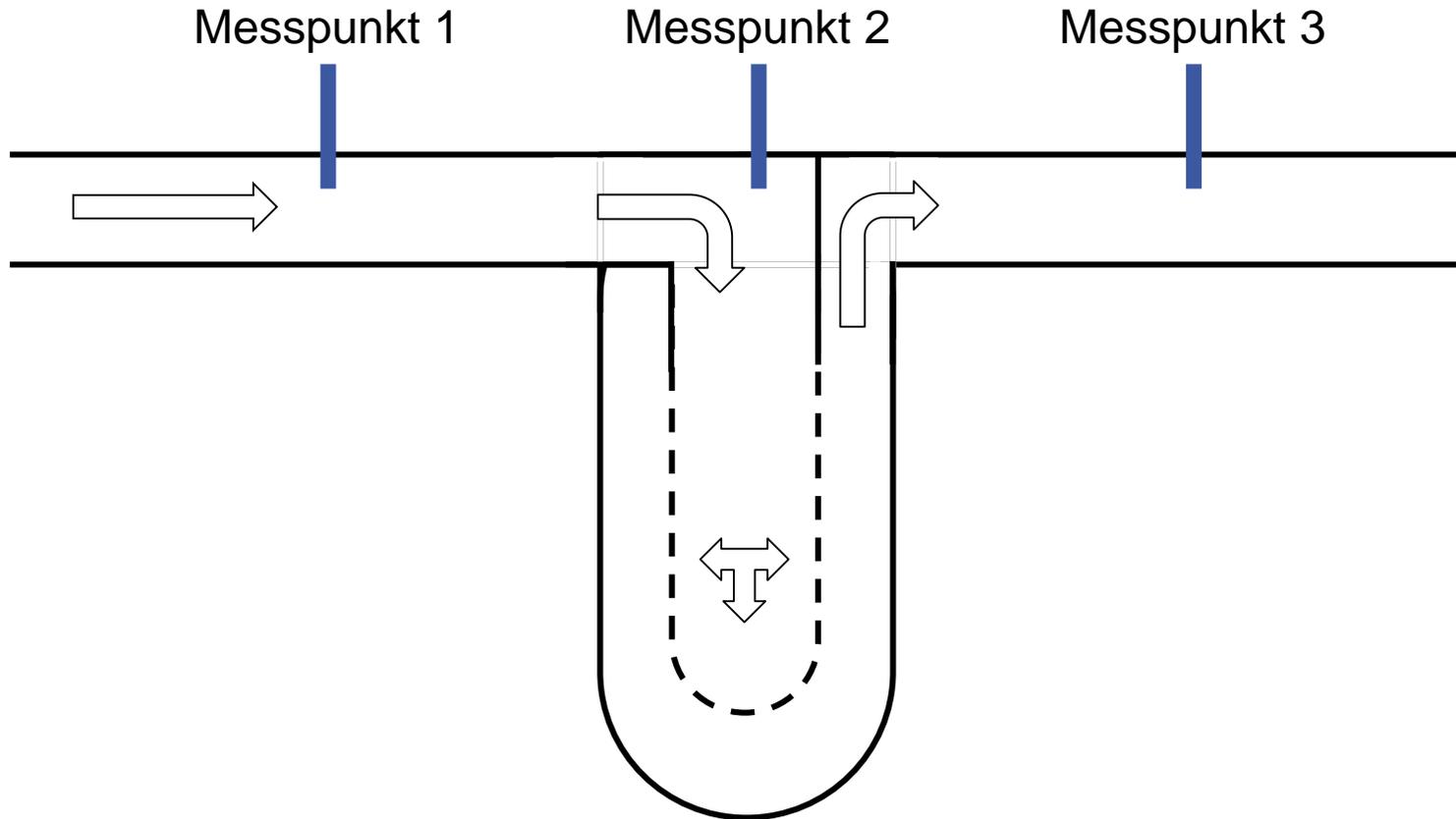
Die validen Emissionstreiber wurden mithilfe eines anderen Versuchsaufbaus gemessen. Die Differenzdruckmessung wurde mit Hilfe von drei unterschiedlichen Messstellen auf die einzelnen Segmente eingegrenzt (siehe Abbildung 8: Messung mit Filtermedium und Abbildung 9: Messung ohne Filtermedium). Das Gehäuse ist verantwortlich für zwei Emissionstreiber, die Anschlussmaße und die Strömungsführung. Die Filterpatrone wird auch von der Strömungsführung beeinflusst und muss für einen reduzierten Druckverlust auch strömungsoptimiert sein (siehe Abbildung 10: Strömungsoptimierte Luftführung (Beispiel Donaldson Ultra-Filter)).

(Rbayti, 2013)

Katalog von Kenngrößen zu Emissionstreibern in der Nutzungsphase



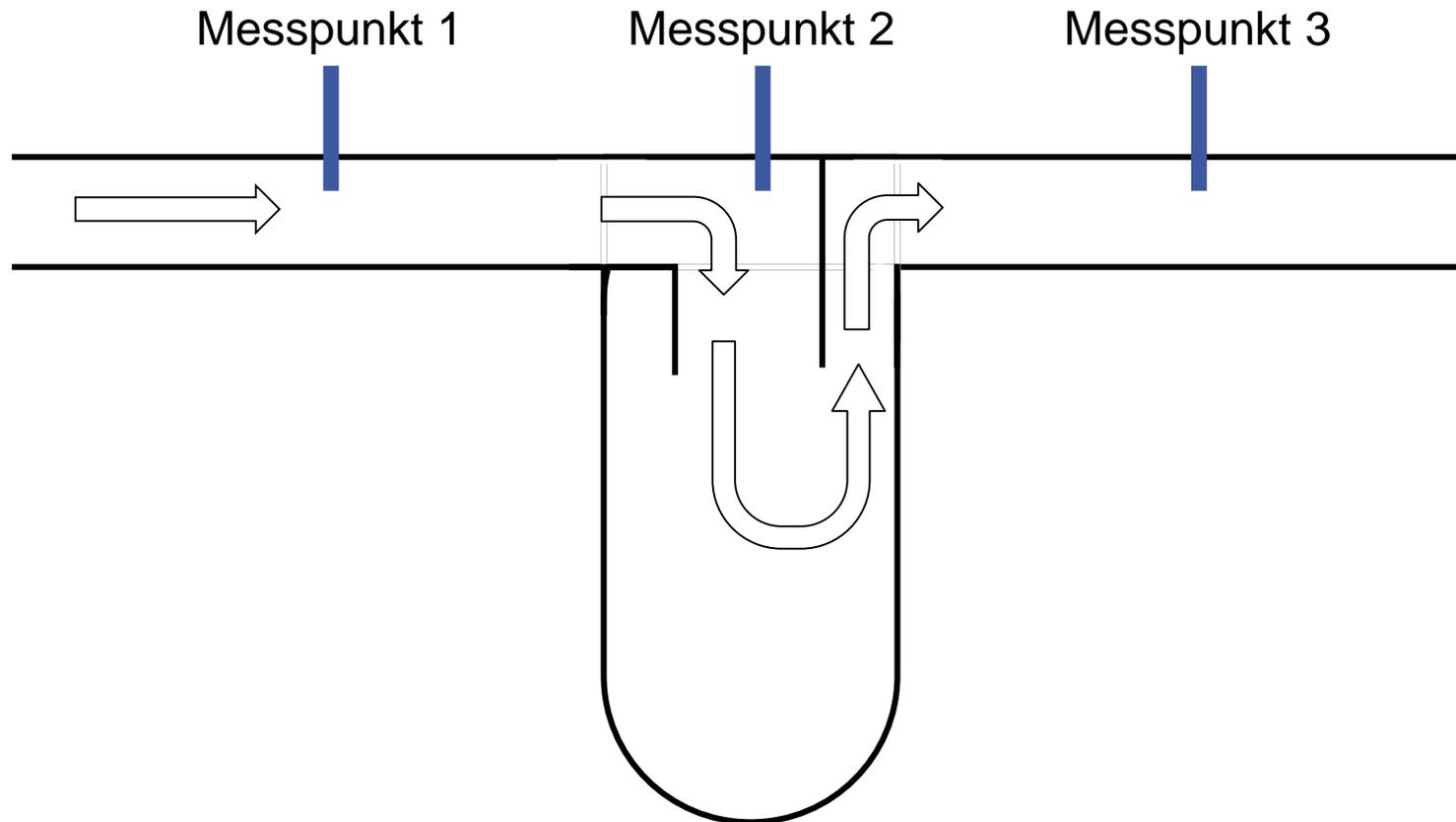
Abbildung 8: Messung mit Filtermedium



Katalog von Kenngrößen zu Emissionstreibern in der Nutzungsphase



Abbildung 9: Messung ohne Filtermedium

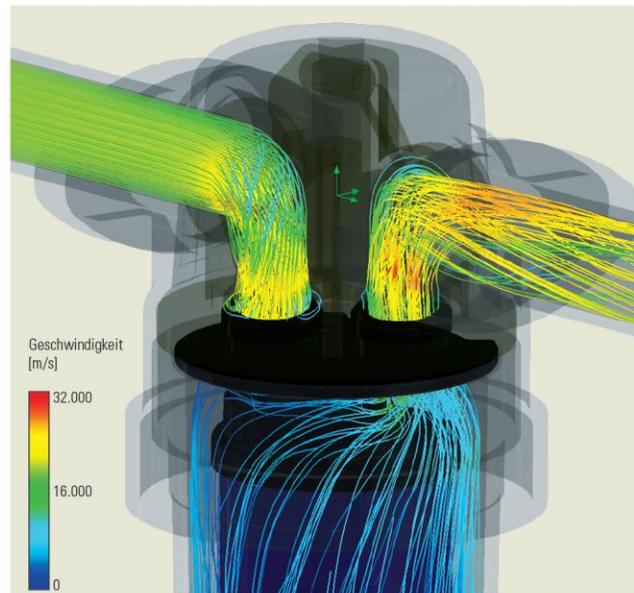


Katalog von Kenngrößen zu Emissionstreibern in der Nutzungsphase



Abbildung 10: Strömungsoptimierte Luftführung (Beispiel Donaldson Ultra-Filter)

(Donaldson Filtration Deutschland GmbH, 2014)



Katalog von Kenngrößen zu Emissionstreibern in der Nutzungsphase

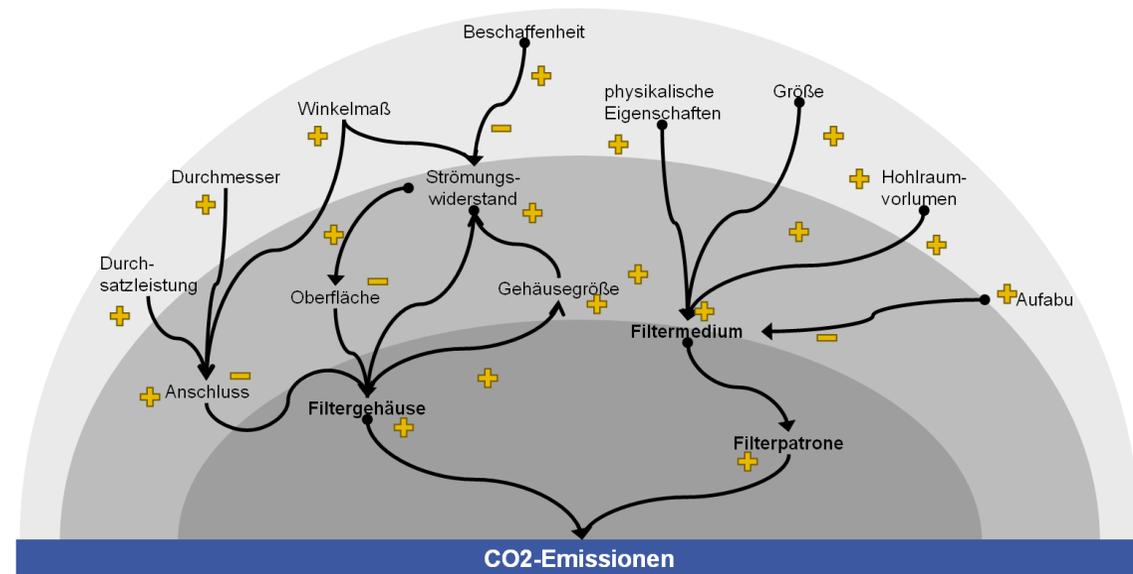


Wirkungszusammenhänge - Emissionstreiberbaum

Die evaluierten Emissionstreiber der Experten wurden zu einem Emissionstreiberbaum zusammengefasst (siehe Abbildung 11: Emissionstreiberbaum)

Abbildung 11: Emissionstreiberbaum

Zusammenhänge in der Übersicht – Ergebnisse der Befragung der Unternehmen



Katalog von Kenngrößen zu Emissionstreibern in der Nutzungsphase



Erstrecken wir nun unsere Betrachtung auf die gesamte Druckluftanlage, so finden wir weitere Emissionstreiber die indirekt auch CO²-Emissionen emittieren (siehe Tabelle 3: Auszug - Emissionstreiber - gesamte Anlage)

Komponente	Bewertungsgröße	Gewichtung	Optimierung
Kompressor	Effizienz	+++	Wartung
Verrohrung	Druckverlust	+	Investition
Leckagen	Leistungsverlust	+++	Wartung
Druckniveau unnötig hoch	Leistungsverlust	++	Investition
Druckluftfilter / Betrieb	Druckverlust bei geforderte Effizienz	++	Wartung
Druckluftfilter / Investition	Druckverlust bei geforderter Effizienz	++	Labeling

Katalog von Kenngrößen zu Emissionstreibern in der Nutzungsphase



Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 1: Schnittbild eines Druckluft-Filters
- Abbildung 2: laminare vs. turbulente Strömung
- Abbildung 3: Luftverschmutzung 2011 Deutschland
- Abbildung 4: Anschlussgröße 1" auf 1/2"
- Abbildung 5: schematische Darstellung der Filterwirkung (Partikel- und Koaleszenzfilter)
- Abbildung 6: Aufbau Koaleszenzfilter
- Abbildung 7: Hohlraumvolumen - Filtermedium
- Abbildung 8: Messung mit Filtermedium
- Abbildung 9: Messung ohne Filtermedium
- Abbildung 10: Strömungsoptimierte Luftführung (Beispiel Donaldson Ultra-Filter)
- Abbildung 11: Emissionstreiberbaum

Katalog von Kenngrößen zu Emissionstreibern in der Nutzungsphase



Literaturverzeichnis

- Corban, M. (kein Datum). Filtertechnik: Nano-Medien reinigen Druckluft energiesparend. Industrieanzeiger .
- Dipl.-Kfm. Stock, T. (2014). Koaleszenzfilter. Abgerufen am 24. April 2015 von Infiltec GmbH: http://www.infiltec.de/ger/gasfilter/gf_alu_koal.htm
- Fraunhofer ISI. (August 2003). Druckluft effizient . Karlsruhe.
- Großer, D. (1968). ABC der Drucklufttechnik. (A. Druckluft, Hrsg.) Mannheim: Erwin Barth Verlag KG.
- Lämmer, P. (2012). Druckluft effizient nutzen. Praxisleitfaden für Energieeffizienz und Kosteneinsparung der Industrie- und Handelskammer Nürnberg für Mittelfranken (1. Ausg.). Nürnberg: IHK Nürnberg für Mittelfranken.
- Rbayti, A. (8. November 2013). Druckluftfiltration und die Norm ISO 12500. Chemie Technik (11).

Katalog von Kenngrößen zu Emissionstreibern in der Nutzungsphase



Literaturverzeichnis

- Ruppelt, E. (2003). Druckluft-Handbuch (4 Ausg.). Essen: Vulkan-Verlag GmbH.
- SUN-Control-Analytik GmbH. (2013). Partikel- und Koaleszenzfilter. Abgerufen am 23. April 2015 von <http://www.sun-control-analytik.de/SUN-Control-Analytik-partikelfilter-PC-1410-E-koaleszenzfilter-im-edelstahlgehaeuse-sun-c-filter.htm>
- Umweltbundesamt. (2011). Quellen der Luftschadstoff-Emissionen 2011. Abgerufen am 24. April 2015 von Umweltbundesamt: <http://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/emissionen-von-luftschadstoffen/quellen-der-luftschadstoffe>



Carbon Management

**Leitfaden: Messmethoden und -
instrumente aus Kundensicht**

Messmethoden und -instrumente aus Kundensicht

■ Problemstellung

- Identifikation geeigneter Messinstrumente und –methoden zum direkten Messen
- Identifikation geeigneter Instrumente und Methoden zur indirekten Messung
- Kalkulationsvorschriften zur CO₂-Berechnung in den Lebenszyklusphasen

Problemstellung

Carbon Accounting in der Betriebs- und der Entsorgungsphase:

- Zusammenstellung wichtiger Kenngrößen zu den Emissionstreibern in Abhängigkeit von den unternehmensspezifischen Prozessen
- Anleitung zum direkten/indirekten Messen der Emissionen und Zusammenstellung geeigneter Messinstrumente und Methoden
- Kalkulationsvorschriften für die Berechnung von CO₂-Emissionen

Zweck: Der Kunde (Druckluftanwender) wird unterstützt, den durch den Filter im realen Einsatz verursachten CO₂-Emissionen aufwandsarm zu messen und zu berechnen

Druckluft ist eine der teuersten Energieformen, demzufolge ist eine intelligente Nutzung ratsam, welche zudem enorme Einsparpotenziale birgt. Dies wird durch eine Verbrauchsmessung, die den tatsächlichen Druckluftverbrauch und auch schon kleinste Leckagen schnell und zuverlässig messen und aufzeichnen kann, erreicht.

Problemstellung

Verbrauch einzelner Maschinen muss bekannt sein, um Sparpotenziale zu nutzen

Nur wenn der Verbrauch einzelner Maschinen oder Anlagen bekannt ist und für alle transparent gemacht wird, können Einsparpotenziale genutzt werden. Meist fehlt jedoch die Kenntnis des Leckageanteiles.

Ergebnis: Anleitung zum direkten/indirekten Messen der Emissionen, eine Zusammenstellung geeigneter Messinstrumente und Methoden, sowie Kalkulationsvorschriften für die Berechnung von CO₂-Emissionen

Das Carbon Management von Kunden in der Inbetriebnahme-, Betriebs- und Entsorgungsphase eines Filters basiert auf der regelmäßigen Erfassung von Kenngrößen, die stark mit den CO₂-Emissionen des Filters korrelieren („Emissionstreiber“). Beispiele sind der Stromverbrauch der Kompressoren, die die benötigte Luftmenge durch die Filterelemente befördern müssen. Bei zunehmender Verschmutzung bzw. mit zunehmender Alterung (Standzeit) der verwendeten Filterpatronen wird die Leistung der Kompressoren nachgeregelt; der Strombedarf steigt.

Problemstellung

Zur Bewertung dieser Zusammenhänge ist ein Messfeld zu installieren, über das die tatsächlichen Verbräuche gemessen und über geeignete Kennzahlen bewertet werden können. Dazu sind lokale Kenngrößen der Druckluft an den jeweiligen Prozessen (lokaler Verbrauch) zu erfassen und über die zeitliche Korrelation dieser Größen mit der Leistungsaufnahme der Kompressoren zu bewerten.

Im Einzelnen sind dies z.B. die Messung des Volumenstromes der lokal entnommenen Druckluft sowie die Messung des zugehörigen Druckniveaus. Daraus kann die entnommene Leistung über das Produkt aus Volumenstrom und Druckniveau berechnet werden. Die Messgrößen werden lokal gemessen und zentral erfasst, so dass eine ganzheitliche Übersicht erstellt und damit die gesamte Druckluftanlage der Betriebe bewertet werden.

Problemstellung

KMU-Herstellern bieten sich hierdurch weitere Anknüpfungspunkte für einen erweiterten Service und Dienstleistungen in den Phasen der Inbetriebnahme, des Betriebs und Entsorgung.

In vielen Fällen ist die direkte Messung der Emissionstreiber nicht möglich oder nicht wirtschaftlich (z.B. kein eigener Stromzähler für die Filteranlage). Hier gibt das AP5 Hilfestellung durch die Bereitstellung indirekter Messmethoden und -instrumente, bspw. durch Messung der Emissionstreiber (inputorientiertes Vorgehen).

Ein weiteres Beispiel hierfür sind Energieverbrauchskurven, welche unter Berücksichtigung der Einsatzdauer und für bestimmte Einsatzbedingungen zur Verfügung gestellt werden, um sich dem tatsächlichen Energieverbrauch der Filteranlage anzunähern, ohne kostenintensive Messinstrumente installieren zu müssen.

Problemstellung

Hierfür sind Kalkulationsvorschriften notwendig, um aus den direkten und/oder indirekten Messungen CO₂-Emissionen berechnen zu können. Die Kalkulation wird durch einen Excel-Demonstrator unterstützt und kann entweder durch die Hersteller oder die Kunden selbst vorgenommen werden. Der Excel-Demonstrator kann weiterhin als Grundlage für ein umfangreiches Monitoring, für Zeitvergleiche sowie für ein internes und externes Umweltberichtswesen dienen.

Messmethoden und -instrumente aus Kundensicht

- Problemstellung
- **Identifikation geeigneter Messinstrumente und –methoden zum direkten Messen**
- Identifikation geeigneter Instrumente und Methoden zur indirekten Messung
- Kalkulationsvorschriften zur CO₂-Berechnung in den Lebenszyklusphasen

Identifikation geeigneter Messinstrumente und –methoden zum direkten Messen



Daten sind der Schlüssel zur erfolgreichen Optimierung in Druckluftnetze. Diese werden in der Regel mittels Messtechnik generiert. Diese Datenbasis dient zur Beurteilung und Sicherstellung der Druckluftqualität sowie zur Identifizierung versteckter Kostentreiber. Mit deren Hilfe ist auch die Erweiterung von Anlagen und das frühzeitige Beheben von Störungen möglich.

Es gibt viele Gründe für den vielfältigen Einsatz von Messtechnik, die wichtigsten Gründe finden sich in den Anforderungen an die Energieeffizienz, Qualität und die Prozesssicherheit des Betriebsmittels Druckluft.

Qualitätsüberwachung:	Restölgehalt (Öldampf), Feuchtigkeit, Temperatur, Drucktaupunkt
Energieverbrauch:	Strömungsgeschwindigkeit, aktueller Verbrauch, Gesamtverbrauch
Prozesssicherheit:	Z.B. medizinische Atemluft: Überwachung der Grenzwerte der Pharmacopoeia

Identifikation geeigneter Messinstrumente und –methoden zum direkten Messen



Analoge Messtechnik

Versuchsaufbau

Für eine aussagekräftige Messung muss der Druck sowie die Durchflussmenge gemessen werden. Der Druck im Druckluftsystem ist statisch, die Durchflussmenge jedoch ist vom herrschenden Fließdruck abhängig.

Analoge Systeme haben in der Regel einen begrenzten Messbereich (3l/sec bis 25l/sec)



Quelle: Pressluftdüsen-Report Nr. 39; Allgemeine Versicherungsanstalt AUVA, Wien

Identifikation geeigneter Messinstrumente und –methoden zum direkten Messen



Die Druckmessung erfolgt in der Regel unter Fließbedingungen, sie dient zum Steuern und Regeln von Kompressoren

Differenzdruckmessung wird zum Überwachen der Funktionstüchtigkeit und Wirtschaftlichkeitsbewertung von Druckluftaufbereitungssystemen (Druckluftfilter) eingesetzt.

Kompressoren weisen verschiedene Schalttechniken mit unterschiedlicher Präzision auf:

■ Membrandruckschalter

Stand: heute; sie leiten die Messwerte in Form eines elektronischen Schaltsignals an die Steuereinheit weiter

Nachteile:

- mechanisches Bauteil, verschleißanfällig
- Hohe Schaltdifferenz

Quelle: Druckluft-effizient

Bonfig, Karl W. (2002): Technische Durchflussmessung. Unter besonderer Berücksichtigung neuartiger Durchflussmessverfahren. 3. Aufl. Essen: Vulkan-Verl.

Identifikation geeigneter Messinstrumente und –methoden zum direkten Messen



■ Kontaktmanometer

Stand: 90er Jahre; mechanische Kontaktmanometer

Vorteile: aus heutiger Sicht gibt es keine Vorteile

Nachteile:

- Geringer Messbereich
- Nicht programmierbar – begrenzte Anzahl an Schaltpunkten

■ Elektronischer Druckaufnehmer

Stand: heute; Druckwerte werden in analoge Signale gewandelt

Vorteile:

- Hohe Auflösung
- Wiederholgenauigkeit
- Kompakt

Nachteile:

Quelle: Druckluft-effizient

Bonfig, Karl W. (2002): Technische Durchflussmessung. Unter besonderer Berücksichtigung neuartiger Durchflussmessverfahren. 3. Aufl. Essen: Vulkan-Verl.

Identifikation geeigneter Messinstrumente und –methoden zum direkten Messen



Eine Druckluft-Verbrauchsmessung beziehungsweise eine Leckagemessung sollte den tatsächlichen Druckluftverbrauch und auch kleinste Leckagen schnell und zuverlässig messen und aufzeichnen können.

Quelle: Druckluft-effizient

Feldmann, Karl-Heinz (2003): Optimale Druckluftverteilung. So spart man Energie und Kosten in Druckluftleitungsnetzen ; mit 11 Tabellen. 2., völlig neu bearb. Aufl. Renningen: Expert-Verl. (Kontakt & Studium, Bd. 197).

Identifikation geeigneter Messinstrumente und –methoden zum direkten Messen



■ Volumenstrom

Der effektive Volumenstrom ist nicht mit der tatsächlichen Liefermenge pro Zeiteinheit gleichzusetzen, sondern die effektiv gemessene Luftmenge, rückgerechnet auf die Ansaugbedingungen des Kompressors.

■ Unterschiedliche Volumenangaben

■ Normvolumen nach DIN 1343

Temperatur: 0°C; Druck: 1,01325 bar; rel. Luftfeuchte: 0%; Luftgewicht: 1,249kg/m³

■ Normvolumen nach DIN/ISO 2533

Temperatur: 15°C; Druck: 1,01325 bar; rel. Luftfeuchte: 0%; Luftgewicht: 1,225kg/m³

■ Normalvolumen

Temperatur, rel. Luftfeuchte und Luftgewicht: in Abhängigkeit zum Arbeitsort

■ Betriebsvolumen

komprimierte Luftmenge im Druckluftnetz,

Temperatur: Umgebung; rel. Luftfeuchte: Grad der Aufbereitung; Luftgewicht: variabel

Identifikation geeigneter Messinstrumente und –methoden zum direkten Messen



■ Volumenstrommessung

in der Regel beziehen sich die Herstellerangaben auf den Umgebungszustand, die Messung hingegen findet unter Druck statt. Dies führt dazu, dass die Werte korrigiert werden müssen.

- Ansaugvolumenstrom V_1
- Austrittsvolumen V_2
- Ansaugtemperatur T_1
- Austrittstemperatur T_2
- Ansaugdruck p_1
- Austrittsdruck p_2

$$V_1 = \frac{V_2 * p_2 * T_1}{T_2 * p_1}$$

Quelle: Ruppelt, Erwin (2003): Druckluft-Handbuch. 4. Aufl. Essen: Vulkan-Verl.

Feldmann, Karl-Heinz (2003): Optimale Druckluftverteilung. So spart man Energie und Kosten in Druckluftleitungsnetzen ; mit 11 Tabellen. 2., völlig neu bearb. Aufl.

Renningen: Expert-Verl. (Kontakt & Studium, Bd. 197).

Identifikation geeigneter Messinstrumente und –methoden zum direkten Messen



■ **Volumenstrommessung**

Da Druck und Temperatur selten konstant sind, sind diese zusätzlich zu erfassen. Diese beiden Parameter sorgen für eine

■ **Direkte Messung des Volumenstroms**

Mittels **Staudruckmessung** wird der Volumenstrom sehr genau gemessen, dies kann durch drei Messformen erfolgen: Venturi-Düse, Messprinzip mit Blende und mittels Staudrucksonde.

Identifikation geeigneter Messinstrumente und –methoden zum direkten Messen



■ **Volumetrische Messung**

Die volumetrische Messung wird zur Bestimmung der Förderleistung von z.B. Kompressoren eingesetzt. Hierfür gibt es unterschiedliche Messvorrichtungen wie z.B. den Drehkolbengaszähler und den Turbinenmessradzähler.

Hierbei handelt es sich um wartungsintensive Messinstrumente, die zudem keinen hohen Druckanstieg (Befüllen eines leeren Druckluftnetz) überstehen.

■ **Kalorimetrische Messung**

Mittels Hitzdrahtanemometer kann der Volumenstrom in Abhängigkeit des Massendurchsatzes gemessen werden. Hier wird die abgeführte Wärme ins Verhältnis zum durchgesetzten Volumenstrom gesetzt. Dieses Messsystem wird stark von Temperatur, Feuchtigkeit sowie Druckschwankungen beeinflusst.

In Druckluftnetzen herrschen Geschwindigkeiten von 25-30 m/s bei einem Betriebsdruck von 10 bar

Quelle: Ruppelt, Erwin (2003): Druckluft-Handbuch. 4. Aufl. Essen: Vulkan-Verl.

Druckluft effizient. Fakten zur Druckluft (2003). Karlsruhe: Fraunhofer ISI (Druckluft-Fakten).

Stehle, Peter; Otto, Peter; Postberg, Hans-Jürgen, VDI-Bericht 1681 (2002), „Volumenstrommessung schafft Transparenz“

Bonfig, Karl W. (2002): Technische Durchflussmessung. Unter besonderer Berücksichtigung neuartiger Durchflussmessverfahren. 3. Aufl. Essen: Vulkan-Verl.

Identifikation geeigneter Messinstrumente und –methoden zum direkten Messen



■ Coriolis Massenstrommessung

Mit Hilfe der Corioliskräfte (geradlinige und rotatorische Bewegungen überlagern sich) lässt sich der Massendurchfluss in Abhängigkeit von Größe der Kräfte und der Geschwindigkeit berechnen.

■ Karmanische Wirbelstraßenmessung

Innerhalb des Systems wird ein Körper fixiert, welcher von der Druckluft umflossen wird, diese Strömungen (Wirbel und Schwingungen) werden von einem Sensor erfasst und lassen Rückschlüsse auf den Volumenstrom zu.

■ Ultraschallmessungen

Bisher wird diese Technik bei fluiden Systemen eingesetzt, jedoch gibt es diese auch für Druckluftsysteme

Quelle: Ruppelt, Erwin (2003): Druckluft-Handbuch. 4. Aufl. Essen: Vulkan-Verl.
Druckluft effizient. Fakten zur Druckluft (2003). Karlsruhe: Fraunhofer ISI (Druckluft-Fakten).

Identifikation geeigneter Messinstrumente und –methoden zum direkten Messen



■ **Verbau von Mess-Sensorik**

Die akkuratesten Sensoren nützen nichts, wenn diese nicht entsprechend der Einbauvorschriften in das System integriert werden. Diese Schnittstelle nennt man die Prozessschnittstelle, sie verbindet die Messtechnik mit dem eigentlichen Prozess. Die physikalische Einheit wird in eine elektrische Größe gewandelt. Sind die Einbauverhältnisse unterschiedlich, so sind keine genauen reproduzierbare Messungen möglich. Die Positionierung ist bislang nicht konkret definiert.

- In der Regel müssen Mess-Systeme folgende Einbaurichtlinien erfüllen:
 - Eintauchtiefe des Sensors muss konstant sein
 - Sensor muss quer zur Strömung ausgerichtet sein
 - Keine Störquellen in unmittelbarer Umgebung (Flansche und ähnliches)

Quelle: Ruppelt, Erwin (2003): Druckluft-Handbuch. 4. Aufl. Essen: Vulkan-Verl.

Otto, Peter; Postberg, Hans-Jürgen, Maschinenmarkt (6/2008), „Geschickter Einsatz von Messtechnik stellt Druckluftverfügbarkeit sicher“

Identifikation geeigneter Messinstrumente und –methoden zum direkten Messen



- **Richtig Messen** hängt auch ab, wo gemessen wird:
 - Elektrische Wirkleistungsmessung
 - Volumenstrommessung in der Hauptleitung
 - Volumenstrommessung in der Stichleitung
 - Volumenstrommessung in der Zuleitung
 - Volumenstrommessung am Verbraucher

Quelle: Ruppelt, Erwin (2003): Druckluft-Handbuch. 4. Aufl. Essen: Vulkan-Verl.

Otto, Peter; Postberg, Hans-Jürgen, Maschinenmarkt (6/2008), „Geschickter Einsatz von Messtechnik stellt Druckluftverfügbarkeit sicher“

Identifikation geeigneter Messinstrumente und –methoden zum direkten Messen



■ Genauigkeit von Messinstrumenten

Die angegebene Genauigkeit bei Messinstrumenten sagt nichts über die tatsächliche Genauigkeit aus: diese Angabe stimmt nur bei einem geeichten Durchfluss, welcher eine nahezu exakten Reproduzierbarkeit des Messwerts liefert.

■ Anwender-Vorteile eines kompletten Messsystems

- Keine zusätzlichen Inbetriebnahmekosten
- Wartung unter laufenden Betriebsbedingungen
- Erweiterung der Messinstrumente um zusätzliche Sensoren
- Absperrmöglichkeiten
- Wartung, Inspektion, Instandhaltung nach DIN 31051
- Genauigkeit durch definierten Messbereich

Quelle: Ruppelt, Erwin (2003): Druckluft-Handbuch. 4. Aufl. Essen: Vulkan-Verl.

Stehle, Peter; Otto, Peter; Postberg, Hans-Jürgen, VDI-Bericht 1681 (2002), „Volumenstrommessung schafft Transparenz“

Rohm, Matthias, (2009) „Uncertainty estimation in the measurement of standardized air flow in industrial applications using thermal flow sensor“

Identifikation geeigneter Messinstrumente und –methoden zum direkten Messen

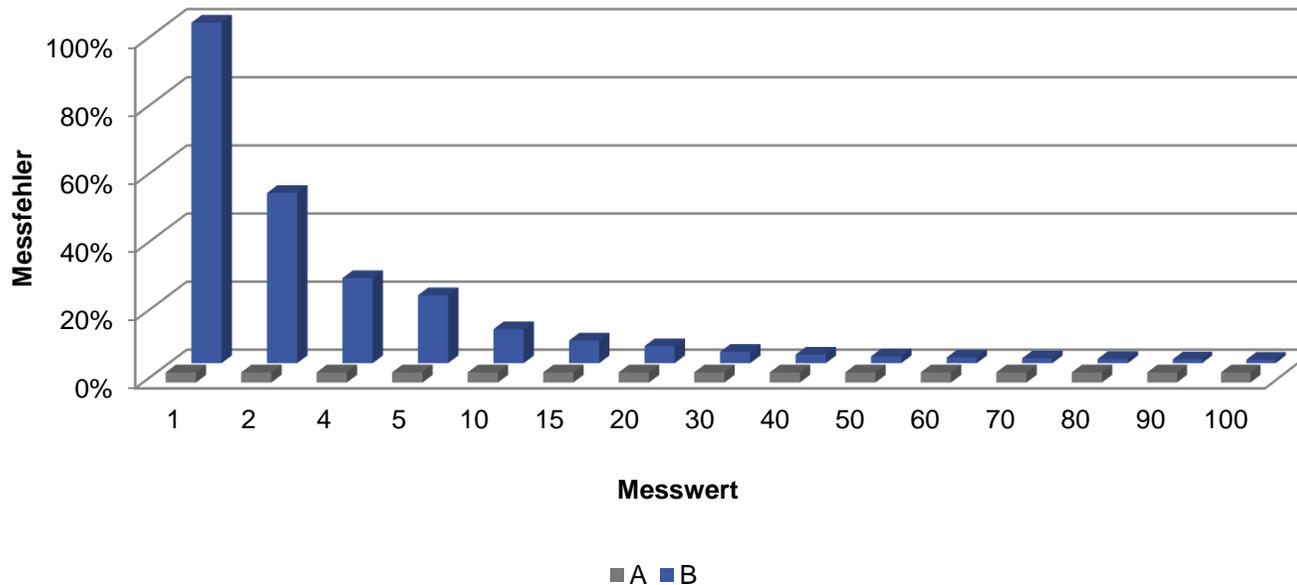


■ Beispiel:

Messbereichsspanne: $1\text{m}^3/\text{h}$ - $100\text{m}^3/\text{h}$

Messfehler: 1% vom Endwert, +3% vom Messwert

Erklärung: Bei $1\text{m}^3/\text{h}$ im Anfangsbereich beträgt die tolerierbare Messspanne 0 bis $2\text{m}^3/\text{h}$ = Messfehler von 100% vom Messwert (B); Messreihe konstant 3% vom Messwert (A)



Quelle: Ruppelt, Erwin (2003): Druckluft-Handbuch. 4. Aufl. Essen: Vulkan-Verl.
Stehle, Peter; Otto, Peter; Postberg, Hans-Jürgen, VDI-Bericht 1681 (2002), „Volumenstrommessung schafft Transparenz“

Identifikation geeigneter Messinstrumente und –methoden zum direkten Messen



■ Direkte Messung des Druckluftfilters

Die Differenzdruckmessung kann der Anwender vereinfacht nur auf zwei Arten bestimmen:

■ Lösung A: Messung mit und ohne Filter mittels Manometer

Kompressor wird auf einen Druck von 7 bar eingestellt, an der ersten Entnahmestelle nach dem Druckluftfilter wird ein Manometer angebracht, anschließend sind zwei Messungen zu tätigen. Die Erste (p_1) mit eingebauten Filter und die zweite Messung (p_2) ohne Filter. Anschließend erhält man zwei Vergleichswerte. Beispiel: Betriebsdruck 7 bar; $p_1=6,5$ bar; $p_2=7$ bar liefert einen Differenzdruck von 0,5 bar. Jedoch ist diese Methode schädlich für die nachfolgenden Verbraucher, da der Betrieb ohne Filter dafür sorgt, dass Verschmutzungen (wie z.B. Partikel, Ölaerosole) in das Druckluftverteilungsnetz gelangen. Jedoch ist diese Methode für unbedenkliche Anwendungen dennoch geeignet, solange die Druckluftqualität nicht auf höchsten Niveau verlangt wird

Quelle: Ruppelt, Erwin (2003): Druckluft-Handbuch. 4. Aufl. Essen: Vulkan-Verl.
Stehle, Peter; Otto, Peter; Postberg, Hans-Jürgen, VDI-Bericht 1681 (2002), „Volumenstrommessung schafft Transparenz“

Identifikation geeigneter Messinstrumente und –methoden zum direkten Messen



■ Direkte Messung des Druckluftfilters

Die Differenzdruckmessung kann der Anwender vereinfacht nur auf zwei Arten bestimmen:

- **Lösung B:** Messung mittels zwei Messstellen, vor und nach dem Filter für diese Lösung bleibt der Filter im Druckluftsystem montiert und man erhält ähnlich zur Lösung A, zwei Messungen die ebenfalls den Differenzdruck auf einfache (aus Anwendersicht akzeptable Genauigkeit) liefert.

Quelle: Ruppelt, Erwin (2003): Druckluft-Handbuch. 4. Aufl. Essen: Vulkan-Verl.
Stehle, Peter; Otto, Peter; Postberg, Hans-Jürgen, VDI-Bericht 1681 (2002), „Volumenstrommessung schafft Transparenz“

Identifikation geeigneter Messinstrumente und –methoden zum direkten Messen

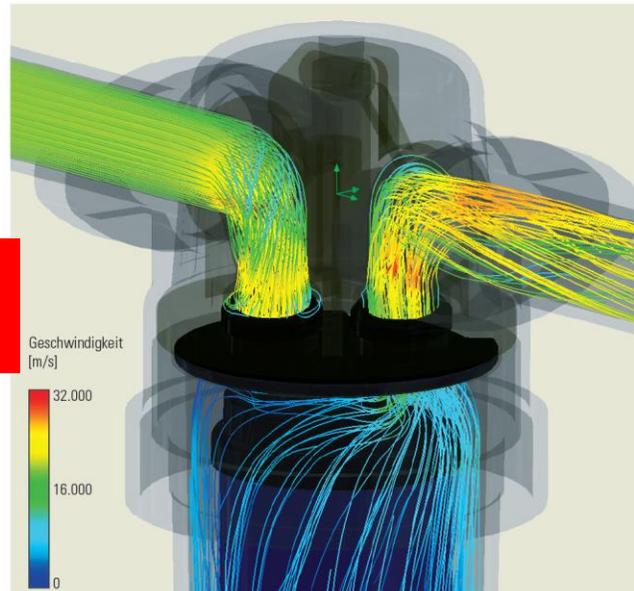


■ Direkte Messung des Druckluftfilters – Strömungsführung

Strömungsoptimierte Luftführung (Beispiel Donaldson Ultra-Filter)

Turbulenter Anteil (Strömungsführung) im Vergleich zum laminaren Anteil (Filtermedium): bei Vorfiltern überwiegt turbulenter Anteil, bei gesättigten „guten“ Koaleszenzfiltern überwiegt laminarer Anteil. Abscheideeffizienz nicht besser als nötig; dabei geringer Differenzdruck.

Lösung 3
nur für den Hersteller geeignet

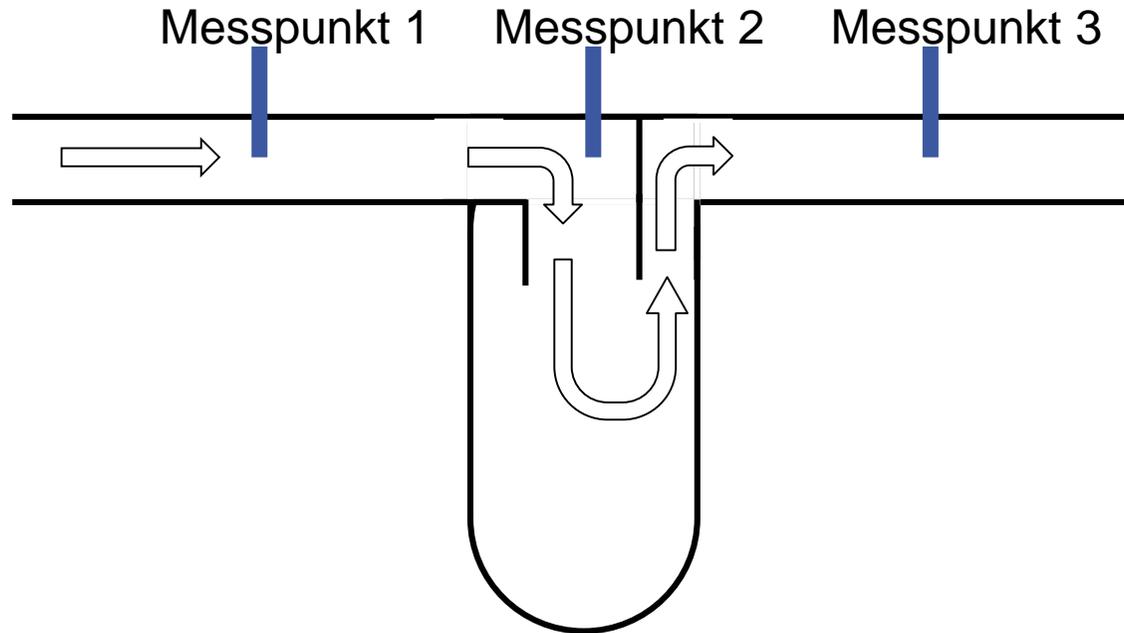


Quelle: Donaldson Filtration Deutschland GmbH, 2014

Identifikation geeigneter Messinstrumente und –methoden zum direkten Messen



- **Direkte Messung des Druckluftfilters – Strömungsführung**
Messung ohne Filtermedium

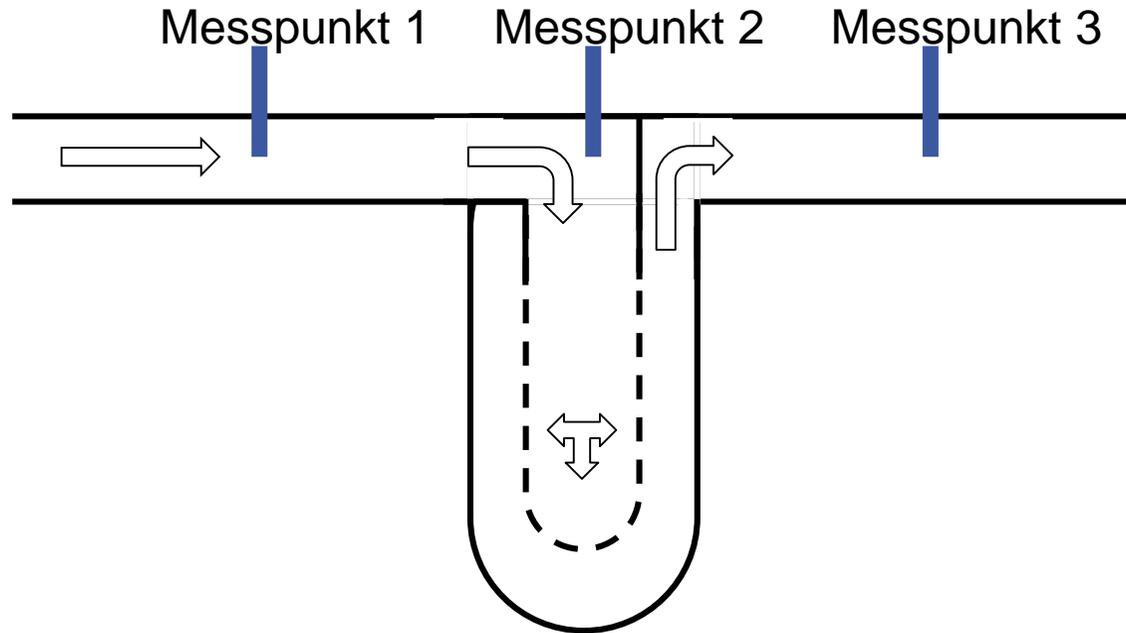


Quelle: Ruppelt, Erwin (2003): Druckluft-Handbuch. 4. Aufl. Essen: Vulkan-Verl.
Stehle, Peter; Otto, Peter; Postberg, Hans-Jürgen, VDI-Bericht 1681 (2002), „Volumenstrommessung schafft Transparenz“

Identifikation geeigneter Messinstrumente und –methoden zum direkten Messen



- **Direkte Messung des Druckluftfilters – Strömungsführung**
Messung mit Filtermedium



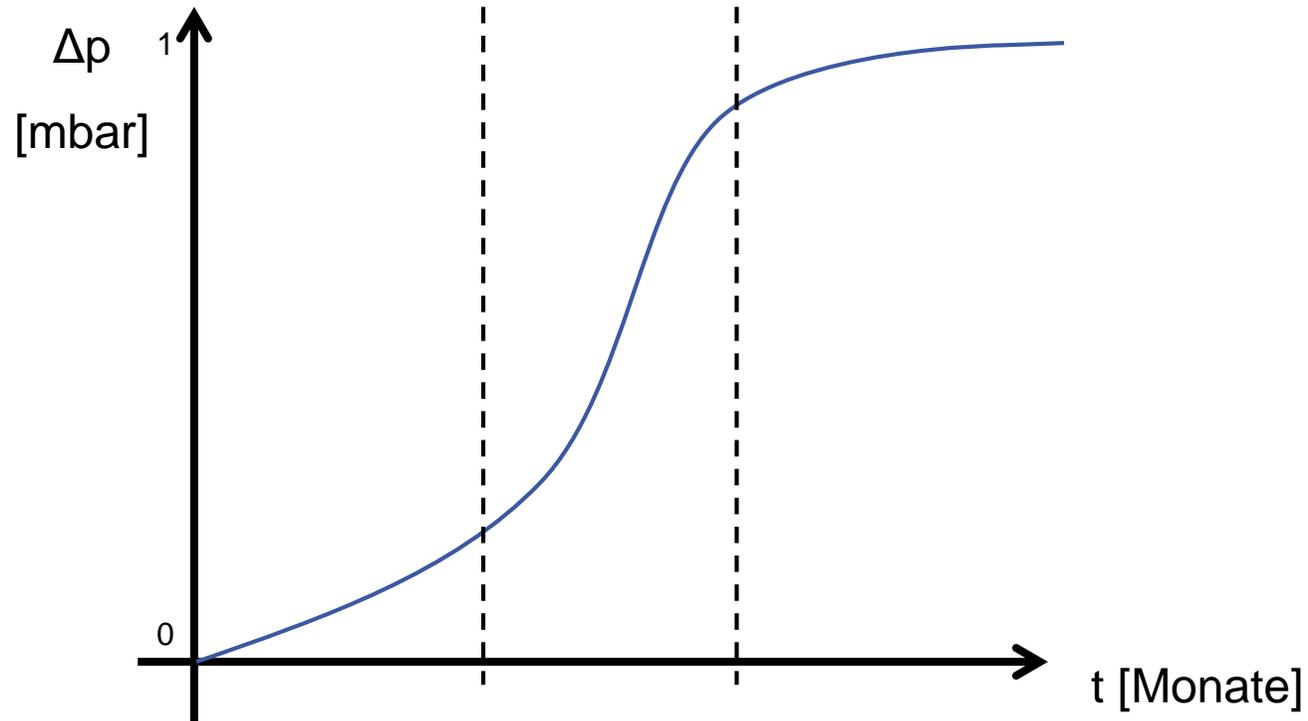
Quelle: Ruppelt, Erwin (2003): Druckluft-Handbuch. 4. Aufl. Essen: Vulkan-Verl.
Stehle, Peter; Otto, Peter; Postberg, Hans-Jürgen, VDI-Bericht 1681 (2002), „Volumenstrommessung schafft Transparenz“

Identifikation geeigneter Messinstrumente und –methoden zum direkten Messen



■ Direkte Messung des Druckluftfilters – Druckdifferenz im Zeitablauf

Die Druckdifferenz nimmt im Zeitablauf zu, je nach Verschmutzungsgrad ist dieser Verlauf s-förmig. Im Mittelbereich ist die relevante Druckdifferenz zu finden, da diese allein auf den Druckluftfilter zurück zu führen ist.



Messmethoden und -instrumente aus Kundensicht

- Problemstellung
- Identifikation geeigneter Messinstrumente und –methoden zum direkten Messen
- **Identifikation geeigneter Instrumente und Methoden zur indirekten Messung**
- Kalkulationsvorschriften zur CO₂-Berechnung in den Lebenszyklusphasen

Identifikation geeigneter Instrumente und Methoden zur indirekten Messung



Entleerung des Druckbehälters (vereinfachte Methode)

Benötigt werden:

- Uhr
- Manometer
- Speichervolumen des Druckbehälters (muss bekannt sein)
- Evtl. Speichervolumen des Druckluftnetzes

Durchführung:

- Befüllung des Druckluftbehälters und des Druckluftnetzes bis zum oberen Abschaltdruck
- Verbraucher müssen außer Betrieb sein
- Ausschalten des Kompressors
- Anschließend Messung

Quelle: Quellenangabe

Identifikation geeigneter Instrumente und Methoden zur indirekten Messung



Entleerung des Druckbehälters (vereinfachte Methode)

Messung:

- Zeitnahme (t) bis ein Druckabfall von 1 oder 2 bar erfolgt.

Bewertung:

- In der Praxis zu aufwendig
- Sehr ungenau
 - Speichervolumen, Verteil-Leitungen sind nicht genau zu bestimmen.
 - Genauigkeit der Differenzdruckmessung und Zeitmessung muss beachtet werden.
 - Bei der Druckabsenkung kühlt sich das Druckluftvolumen ab und ändert so den Volumenstrombezugswert.

Identifikation geeigneter Instrumente und Methoden zur indirekten Messung



Entleerung des Druckbehälters (vereinfachte Methode)

Messung:

$$VL = VB * \frac{(pA - pE)}{t}$$

VL	Leckageverlust in l/min	1000 l/min
VB	Druckbehälterinhalt in l	1000 l
pA	Behälteranfangsdruck in bar (Beginn der Zeitmessung)	7 bar
pE	Behälterenddruck in bar (Ende der Zeitmessung)	6 bar
t	Messzeit in min	1 min

Quelle: Quellenangabe

Identifikation geeigneter Instrumente und Methoden zur indirekten Messung



Indirekte Messmethoden (wie die Leckagemessung mittels Entleerung) sind zu ungenau und teilweise veraltet. Es ist mit diesen Methoden keine Aussage über Leckagen im unteren Messbereich zu tätigen.

Identifikation geeigneter Instrumente und Methoden zur indirekten Messung



■ Kompressorenlaufzeiten

Besteht das Druckluftnetz aus abschaltbaren Teilsträngen so ist eine Identifikation der Leckagen auf die jeweiligen Teilstränge möglich. Der Kompressor arbeitet dann nur für den jeweiligen zu prüfenden Strang. Idee dahinter: Ist der Betriebsdruck von z.B. 7bar (Einschaltdruck des Kompressors: 6bar) erreicht und kein Verbraucher am Werk schaltet sich der Kompressor bei Erreichen der 7bar wieder ab und dürfte solange keine Leckagen vorhanden sind nicht wieder einschalten. Sind hingegen Leckagen vorhanden, so ist ein Rückschluss über den Leckageverlust mittels der erneuten Anlaufphase bis zum Ausschalten möglich. Um genauere Ergebnisse zu erhalten, ist es ratsam die Messung mehrmals durchzuführen.

■ Digitale-Lastzeit-Erfassung

Die im oberen Abschnitt manuelle Erfassung wird bei einem Datenlogger elektronisch erfasst und aufgezeichnet. Kompressoren werden mittels einem Datenlogger aufgezeichnet, dieses Datenaufzeichnungsgerät nimmt die Zustände Vollast, Leerlauf und die Stillstandszeiten des Kompressors auf. Vorteil es werden auch Daten über die Auslastung und über das Laufverhalten des Kompressors gesammelt.

Quelle: Ruppelt, Erwin (2003): Druckluft-Handbuch. 4. Aufl. Essen: Vulkan-Verl.

Identifikation geeigneter Instrumente und Methoden zur indirekten Messung



■ Lastprofil

Mittels einem Lastprofil können Aussagen über die:

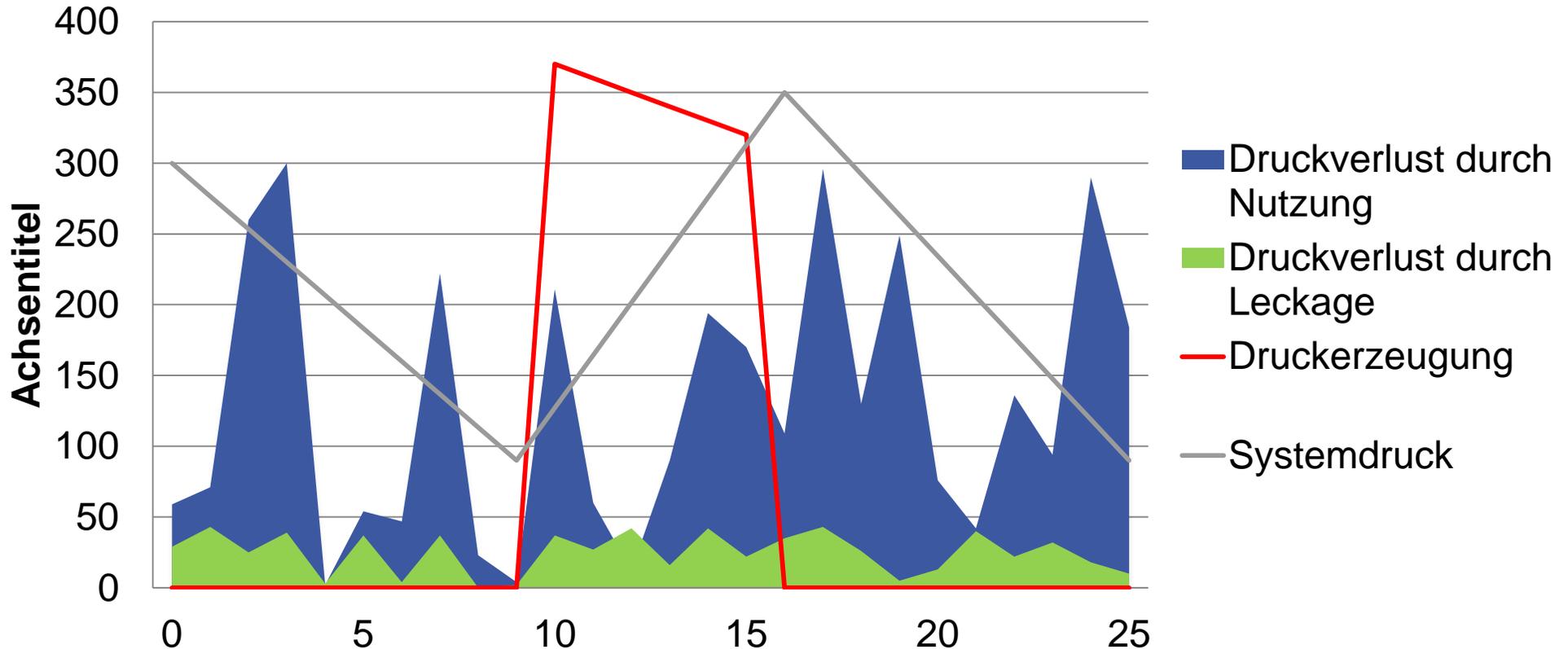
- Druckerzeugung,
 - Druckverluste durch Leckagen,
 - Druckverluste durch Nutzung,
- und über den relativen Systemdruck getroffen werden

Der interessanteste Aspekt ist der Rückschluss auf die Leckagerate, denn anhand des Lastprofils, wird unterstellt, dass der Verbrauch durch die normale Nutzung von dem konstanten Verbrauch durch die Leckage abweicht.

Identifikation geeigneter Instrumente und Methoden zur indirekten Messung



■ Lastprofil



Quelle: Energieagentur NRW; Energiekosten und Leckagen: Das Druckluftnetz – ein Energiefresser im Betrieb; Wuppertal; 1999

Messmethoden und -instrumente aus Kundensicht

- Problemstellung
- Identifikation geeigneter Messinstrumente und –methoden zum direkten Messen
- Identifikation geeigneter Instrumente und Methoden zur indirekten Messung
- **Kalkulationsvorschriften zur CO₂-Berechnung in den Lebenszyklusphasen**

Kalkulationsvorschriften zur CO₂-Berechnung in den Lebenszyklusphasen



Es sind Kalkulationsvorschriften notwendig, um aus den direkten und/oder indirekten Messungen CO₂-Emissionen berechnen zu können. Die Kalkulation wird durch einen Excel-Demonstrator unterstützt und kann entweder durch die Hersteller oder die Kunden selbst vorgenommen werden. Der Excel-Demonstrator kann weiterhin als Grundlage für ein umfangreiches Monitoring, für Zeitvergleiche sowie für ein internes und externes Umweltberichtswesen dienen.

Kalkulationsvorschriften zur CO₂-Berechnung in den Lebenszyklusphasen



Der Druckluftfilter verursacht allein gesehen keine Emissionen. Es wird im nachfolgenden nur die Nutzungsphase betrachtet. Während der Nutzungsphase entstehen Emissionen, durch die Mehrbelastung des Kompressors. Annahme: ein Filter verursacht einen Differenzdruck von 300 mbar, so muss der Kompressor um einen Leitungsbetriebsdruck von 7 bar zu garantieren die Ansaugluft auf 7,3 bar komprimieren. Dies entspricht einem Anstieg um 4,29%.

Kalkulationsvorschriften zur CO₂-Berechnung in den Lebenszyklusphasen



Herstellungsphase

Bestimmt sich aus der Herstellung (inkl. der Vorleistungen der Vorketten)

Nutzungsphase

Bestimmt sich am Beispiel Druckluftfilter allein durch den Mehrverbrauch am Kompressor. Dies ist alleinig der Druckdifferenz des Filtermediums zuzuschreiben

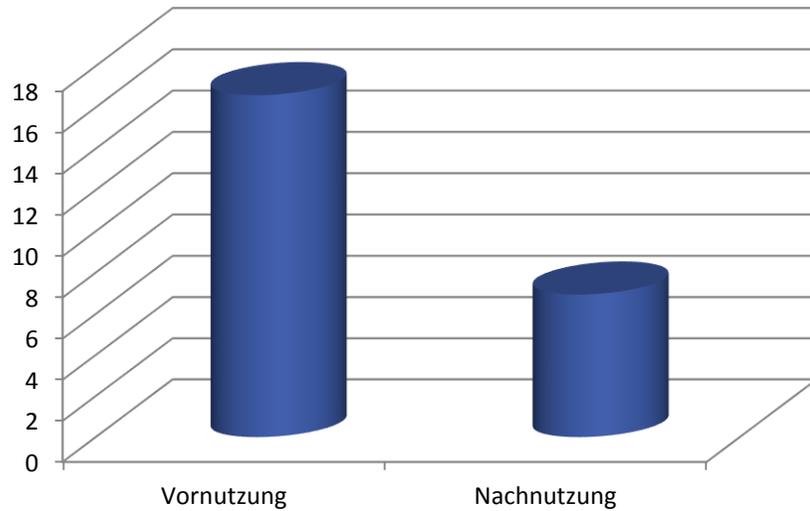
Recyclingphase

Bestimmt sich durch die Entsorgungskosten, in der Regel sind diese Kosten

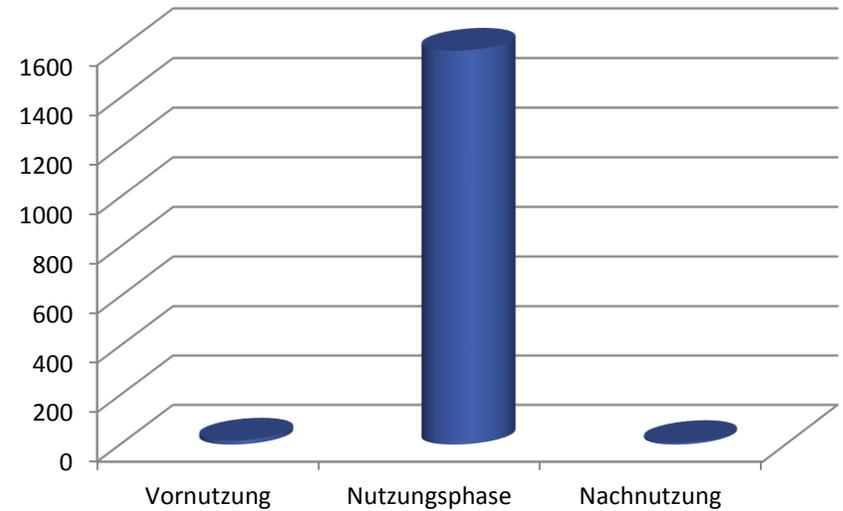
Kalkulationsvorschriften zur CO₂-Berechnung in den Lebenszyklusphasen



CO₂eq (kg)



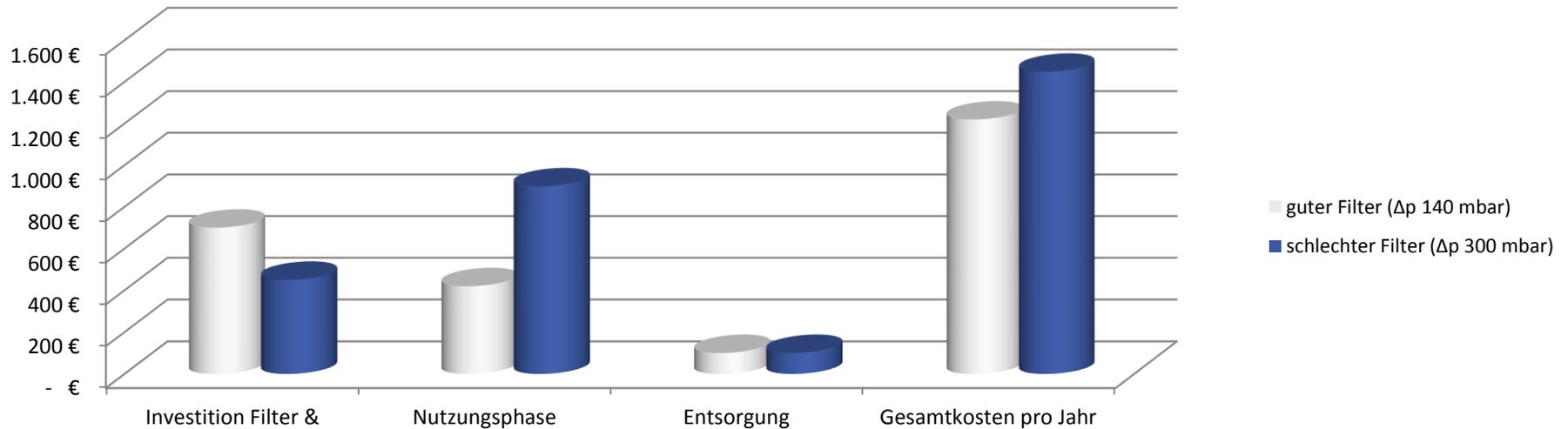
CO₂eq (kg)



Kalkulationsvorschriften zur CO₂-Berechnung in den Lebenszyklusphasen



Wirtschaftliche Betrachtung und Hervorheben der Nutzungsphase:



	guter Filter (Δp 140 mbar)	schlechter Filter (Δp 300 mbar)
Investition Filter & Montage	700€	450€
Nutzungsphase	419€	899€
Entsorgung	100€	100€
Gesamtkosten pro Jahr	1.219€	1.449€
CO ₂ -LCA	1614,26 kg CO₂/Jahr	3432,23 kg CO₂/Jahr

Kalkulationsvorschriften zur CO₂-Berechnung in den Lebenszyklusphasen



Strom → Emissionen

Jede kW/h (nach deutschen Durchschnittsstrommix) erzeugt 569g/kWh CO₂

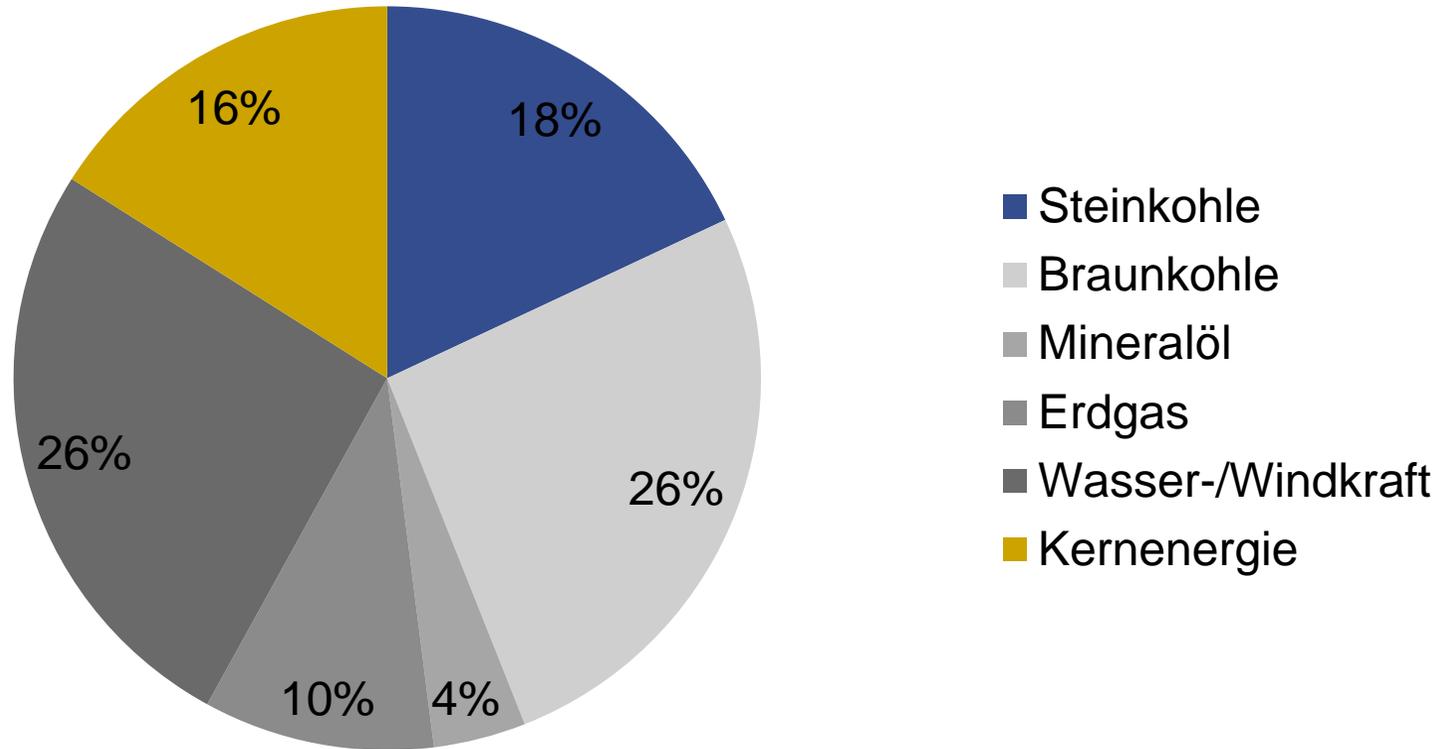
Energieart	spez. CO ₂ -Emissionen ohne Vorkette [g/kWh _{netto}]	spez. CO ₂ -Emissionen inkl. Vorkette [g/kWh _{netto}]	CO ₂ -Emissionen für geg. Energiemix [g/kWh _{netto}]
Steinkohle	894	931	167,58
Braunkohle	1152	1175	305,5
Mineralöl	776	859	34,36
Erdgas	469	518	51,8
Wasser-/Windkraft	0	32	8,32
Kernenergie	0	11	1,76
Emissionsfaktor [g/kWh_{netto}]			569,32

Quelle: <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/170853/umfrage/struktur-der-bruttostromerzeugung-in-deutschland/>

Kalkulationsvorschriften zur CO₂-Berechnung in den Lebenszyklusphasen



Anteil Energiemix [%]



Kalkulationsvorschriften zur CO₂-Berechnung in den Lebenszyklusphasen



Beispiel

- Kompressor mit 90 kW, 270 l/s Leistung
- Arbeitszustand: kW/h * Auslastung (100%) * h/Woche (40) * Arbeitswochen (52)
- Förderleistung

270	l/sec	0,27	m ³ /sec
16.200	l/min	16,20	m ³ /min
972.000	l/hour	972	m ³ /hour
7.776.000	l/day	7.776	m ³ /day
38.880.000	l/week	38.880	m ³ /week
2.021.760.000	l/year	2.021.760	m ³ /year

Kalkulationsvorschriften zur CO₂-Berechnung in den Lebenszyklusphasen



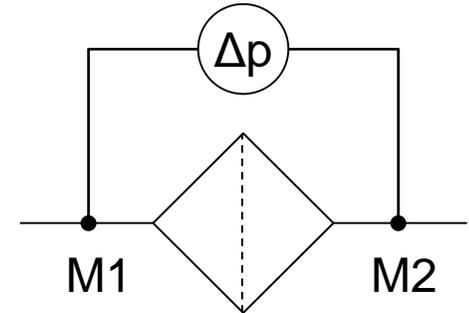
- Strompreis: 0,15 €/kW/h

0,03	kW/sec	=	0,004 €
1,50	kW/min	=	0,23 €
90	kW/hour	=	13,50 €
720	kW/day	=	108 €
3.600	kW/week	=	540 €
187.200	kW/year	=	28.080 €

Kalkulationsvorschriften zur CO₂-Berechnung in den Lebenszyklusphasen



Der Druckabfall Δp ist der strömungstechnisch bedingte Druckunterschied zwischen M1 und M2. Mit der Zeit steigt der Wert Δp an, da sich der Filter mit Staub- und Schmutzpartikeln zusetzt. Messungen ergaben, dass sich die Filter zwischen 150 und 600 mbar im neuwertigen Zustand bewegen. Eine Verschlechterung kann nicht pauschal akzeptiert werden, hierfür müssen individuelle Vergleiche getätigt werden.



Annahme: Wartungsintervall beträgt lt. Hersteller 1 Jahr

Wird das Filtermedium jedoch nicht nach einem Jahr ausgetauscht (Expertenaussagen bestätigten diese Annahme) verschlechtert sich je nach Ansaugverhältnisse die Leistung des Filters drastisch.

Kalkulationsvorschriften zur CO₂-Berechnung in den Lebenszyklusphasen



Beispielrechnung: Ab wann lohnt sich die Investition in einen neuen Filter

Kompressor

Leistung	90 kW
Förderleistung [in l/s]	270 l/s
Betriebsdruck	7 bar
Preis (Strom)	0,15 €

Arbeitszustand

Auslastung	100%
h/Woche	40 h/Woche
5/7 Arbeitswoche	5
Arbeitswochen	52

Filtereinheit

Einbau des Filters	01.01.2013
Wartungsintervall	1 Jahr
Δp (Neuzustand)	200
Filterverschleißfaktor	4

Kosten - Filter

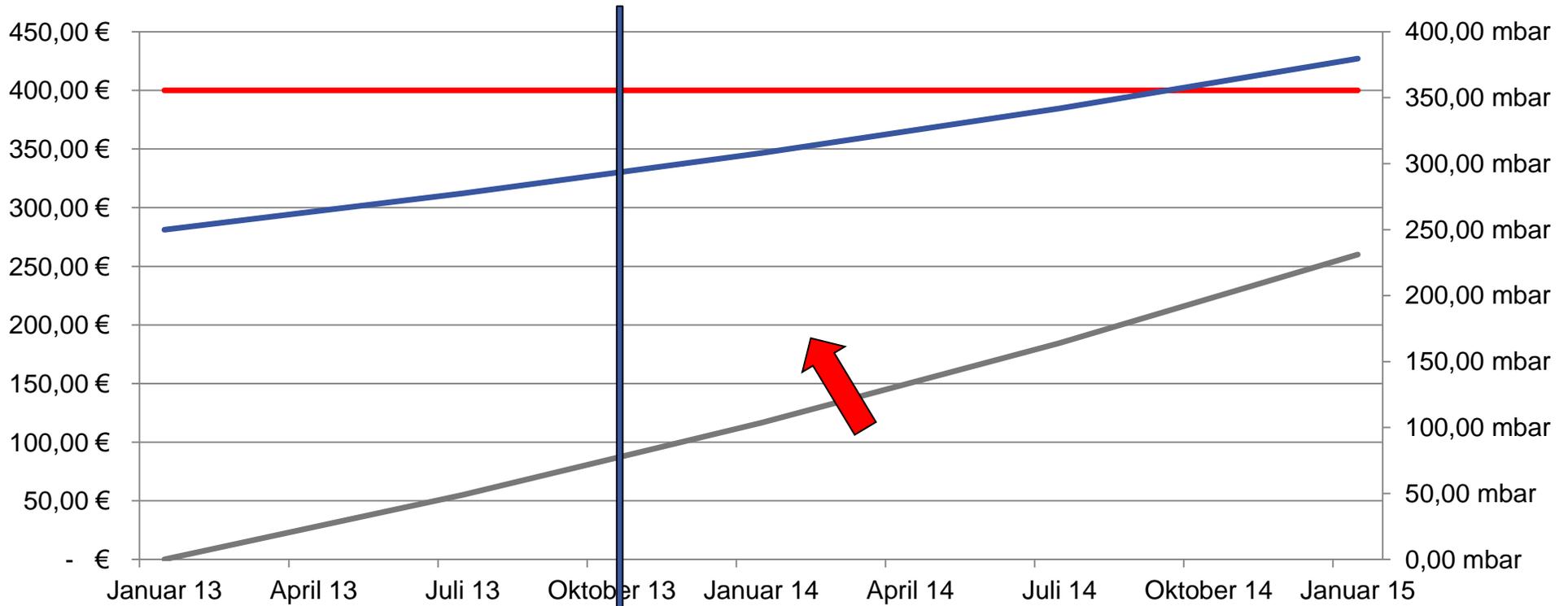
Neupreis/Wartung	400,00 €
------------------	----------

Verschleißfaktor

Vorfilter	Feinfilter
X	

	Januar 13	Juli 13	Januar 14	Juli 14	Januar 15
Druckdifferenz	200,00 mbar	259,83 mbar	337,57 mbar	438,56 mbar	569,76 mbar
Kosten im Zeitraum	401,14 €	521,15 €	677,06 €	879,62 €	1.142,77 €
Differenz zu *neu*	- €	120,01 €	275,92 €	478,48 €	741,63 €
Filteraustausch	400,00 €	400,00 €	400,00 €	400,00 €	400,00 €

Kalkulationsvorschriften zur CO₂-Berechnung in den Lebenszyklusphasen



— Differenz zu *neu* in € — Filteraustausch in €

Wartungsintervall
1 Jahr



Filtertausch > keine Wartung



Carbon Management

Ökologieorientierte Erweiterung traditioneller Planungs- und Investitionskalküle

Die nachhaltigkeits-orientierte Steuerung von Investition ist ein Top-Thema



Warum ist die Steuerung von Investitionen ein Top-Thema?

- Investitionen haben hohen Einfluss auf die „Nachhaltigkeits-Performance“ von Unternehmen
- Getroffene Entscheidungen lassen sich (wenn überhaupt) nur sehr langfristig und mit hohem finanziellen Aufwand wieder revidieren/anpassen
- Nachhaltigkeitsmaßnahmen müssen innerhalb des bestehenden Investitionsvolumens/-portfolios durchgeführt/optimiert werden (ggf. Zielkonflikte)

Warum ist die Beteiligung des Controllings wichtig?

- Erfolgsfaktor 1: Integration von Nachhaltigkeitskriterien in bestehende Prozesse
→ Controlling ist „Process Owner“ für Investitionsprozesse (Planung und Bewertung)
- Erfolgsfaktor 2: Quantitative Datengrundlage für die Bewertung der Nachhaltigkeit
→ Controlling mit Kompetenz in Datenbeschaffung/-verarbeitung
- Erfolgsfaktor 3: Systematische und mehrdimensionale Bewertung der Investitionen
→ Controlling mit Kompetenz in (wirtschaftlicher) Investitionsbewertung

Investitions- und Projekt-Controlling – Investitionsprozessphasendifferenzierung

Investitions-Controlling

Projekt-Controlling

Investitionsplanung

Investitionsbewertung

Investitionsrealisierung

■ Kernfrage:

- Welche Investitionen sollen realisiert werden?

■ Inhalte:

- Planung eines Investitionsportfolios für die nächsten 3-5 Jahre
- Entscheidung für Investitionsprogramm
- Freigabe von Investitionsplänen

■ Kernfrage:

- Welche Alternative zur Realisierung der Investition wird gewählt?

■ Inhalte:

- Bewertung unterschiedlicher Alternativen zur Realisierung der freigegebenen Investition
- Entscheidung für eine zu realisierende Alternative
- Freigabe von Investitionsanträgen

■ Kernfrage:

- Werden die geplanten Projekt-/Investitionsparameter eingehalten (Zeit, Kosten, Qualität, ...)?

■ Inhalte:

- Fortlaufende Kontrolle und Steuerung der Projekte zur Umsetzung der Investition
- Entscheidung für (Korrektur-) Maßnahmen
- Ggf. Freigabe zusätzlicher Budgets/Ressourcen

Investitions- und Projekt-Controlling – Investitionsprozessphasendifferenzierung

CARBON MANAGEMENT

Investitions-Controlling

Projekt-Controlling

Investitionsplanung

Investitionsbewertung

Investitionsrealisierung

- Welche Instrumente können zur Planung von „nachhaltigen“ Investitionen eingesetzt werden?
 - Wie können Nachhaltigkeits-kriterien in die Investitions-/Portfolioentscheidungen integriert werden?
 - Wie können die Nachhaltigkeits-kriterien operationalisiert, d. h. mess-/bewertbar gemacht werden?
 - Wie beeinflussen Nachhaltigkeits-kriterien die Investitions-/Portfolioentscheidungen?
 - Wie können Zielkonflikte adressiert und gelöst werden?
 - ...
- Welche Instrumente können zur Bewertung der Nachhaltigkeit von Investitionen eingesetzt werden?
 - Welche Aspekte/Kriterien der Nachhaltigkeit sind in der Bewertung unterschiedlicher Alternativen relevant?
 - Wie kann der Vielzahl unterschiedlicher Aspekte der Nachhaltigkeit Rechnung getragen werden?
 - Wie verändern/gestalten sich die Prozesse zur Freigabe von Investitionsanträgen?
 - Wie können Zielkonflikte adressiert und gelöst werden?
 - ...
- Werden die Prozesse zur fortlaufenden Kontrolle und Steuerung der Projekte durch das Thema Nachhaltigkeit beeinflusst?
 - Wie kann in der Realisierungs-phase überprüft werden, dass die Nachhaltigkeitsziele auch erreicht werden?
 - Wie regelmäßig wird die Erfüllung der Nachhaltigkeitskriterien einer Investition überprüft?
 - Welche (ggf. angepassten) Regeln für die Freigabe zusätzlicher Budgets/Ressourcen für „nachhaltige“ Investitionen gibt es?
 - ...

Ökologieorientierte Erweiterung traditioneller Planungs- und Investitionskalküle



■ Einleitung

- Ökologieorientiertes Controlling
- Ökologieorientiertes Investitionsmanagement
- Anforderungen an quantitative Investitionsbewertungsverfahren
- Instrumente der ökologieorientierten Investitionsbewertung
- Excel-Anwendung zur ökologieorientierten Investitionsbewertung



Einleitung

Das Management von Umweltbelastungen, insbesondere CO₂-Emissionen, gewinnt für Unternehmen zunehmend an Bedeutung. Dabei stehen Unternehmen verstärkt vor der Herausforderung Investitionen im Spannungsfeld von Ökonomie und Ökologie nachhaltigkeitsorientiert zu planen und umzusetzen.

Eine nachhaltigkeits-orientierte Investitionsplanung und -umsetzung bedingt, dass Nachhaltigkeitsaspekte in die einzelnen Phasen des Investitionsprozesses (Investitionsplanung, Investitionsbewertung und Investitionsrealisierung) integriert werden.

Nachfolgend werden bestehende Konzepte ökologisch erweiterter Planungs- und Investitionskalküle identifiziert und bewertet. Hierzu wurden vorhandene Ansätze aus der Literatur identifiziert und bewertet. Dies geschah mit dem Hintergrund der Anwendbarkeit des Konzepts speziell für die Investitionsentscheidungen in der Entsorgungsphase von Druckluftfiltern.



Einleitung

Inhaltlich beschäftigt sich der Praxisteil mit der Entscheidung, ob und wann es aus wirtschaftlicher und ökologischer Sicht sinnvoll ist, einen vorhandenen Filter zu ersetzen oder dessen Lebensdauer durch entsprechende Maßnahmen zu verlängern.

Die Anwendung wird in Excel anhand einer um ökologische Aspekte erweiterten Planungs- und Investitionsrechnung demonstriert.

- Identifikation vorhandener Ansätze ökologieorientierter Planungs- und Investitionskalküle
- Erweiterung der Ansätze um emissionsorientierte Aspekte und Kombination mit „traditionellen“ (ökonomischen) Planungs- und Investitionskalküle
- Einbetten der Planungs- und Investitionskalküle in die Entscheidungsfindung
- Übertragung der Planungs- und Investitionskalküle in einen Excel-Demonstrator

Ökologieorientierte Erweiterung traditioneller Planungs- und Investitionskalküle



- Einleitung

- **Ökologieorientiertes Controlling**

- Ökologieorientiertes Investitionsmanagement

- Anforderungen an quantitative Investitionsbewertungsverfahren

- Instrumente der ökologieorientierten Investitionsbewertung

- Excel-Anwendung zur ökologieorientierten Investitionsbewertung



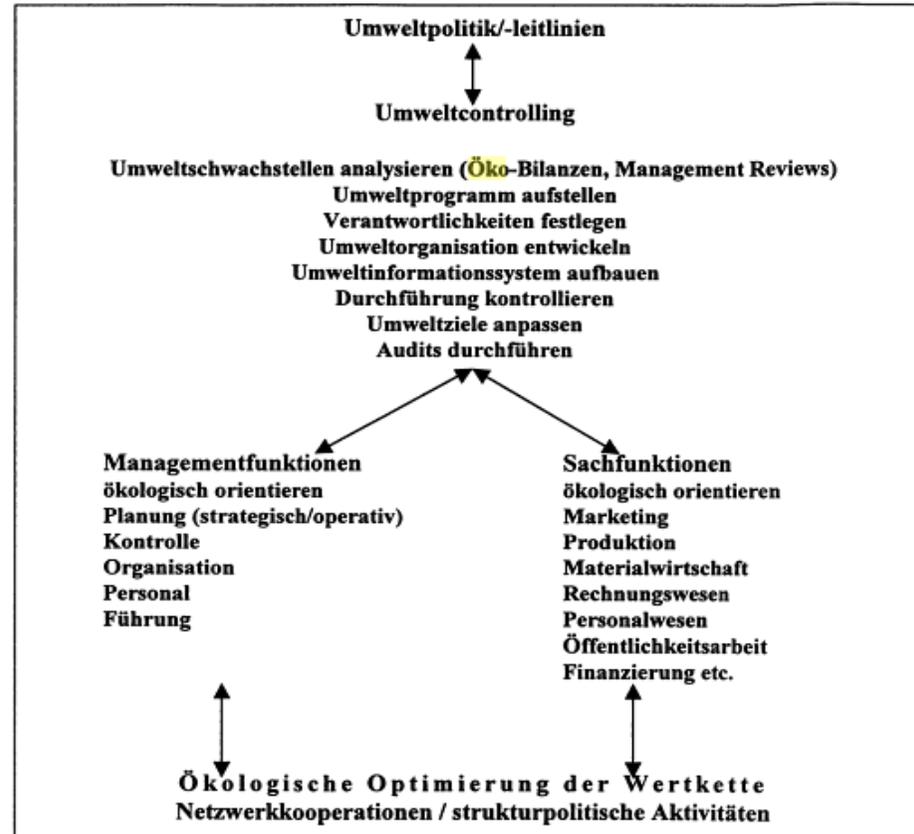
Ökologieorientiertes Controlling

„Umweltcontrolling ist ein Subsystem des Controlling, dass durch systembildende und systemkoppelnde Koordination die **Planungs-, Steuerungs-, Kontroll-, und Informationsversorgungsfunktion** des Controllings um ökologische Komponenten erweitert und auf diese Weise die Adaptionen- und Koordinationsfähigkeit des Gesamtsystems unterstützt.“

Um dem systembildenden Ansatz gerecht zu werden, muss ein ökologieorientiertes Controlling dazu beitragen ein geeignetes aufbau- und ablauforganisatorisches Basissystem des Umweltmanagements (**Umweltmanagementsystem**) zu schaffen.

Ökologieorientiertes Controlling

Bausteine eines Umweltmanagementsystems (Stahlmann)





Ökologieorientiertes Controlling

Hierfür ist ein etabliertes Informationssystem, das neue Schnittstellen und umweltschutzbedingte Informationswege ermöglicht Voraussetzung.

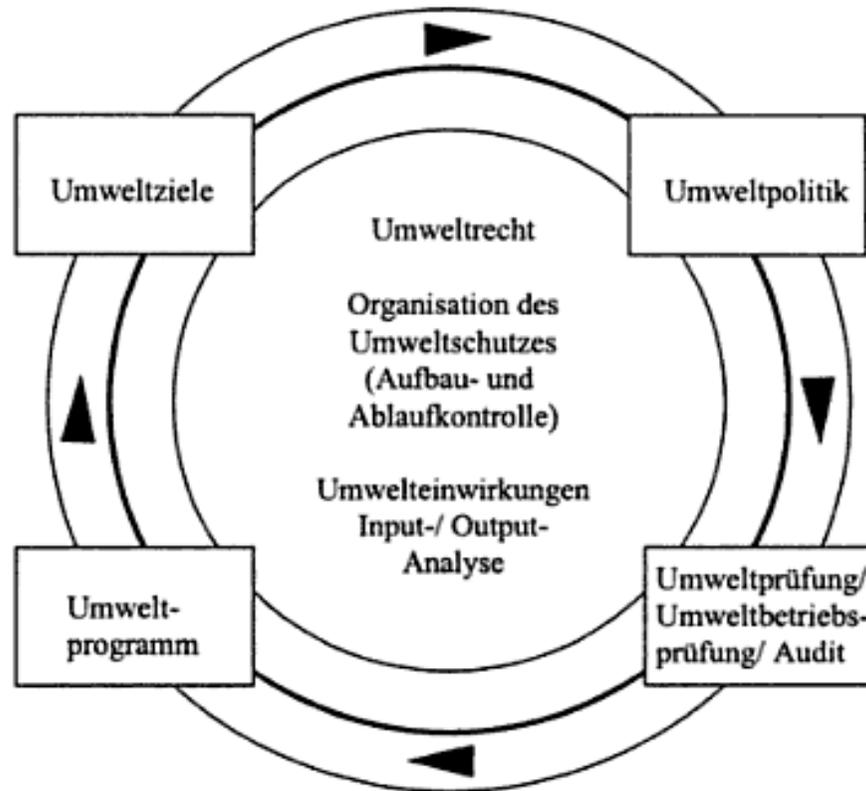
Die Summe der gesammelten Informationen können zu Planzahlen verdichtet werden (unter Berücksichtigung einer fortlaufenden Kontrolle).

Das ökologieorientierte Controlling lässt sich in zwei Konzepte unterteilen:

- Erweiterungen des Controllings: Umweltkontrollsysteme werden parallel und unabhängig vom klassischen Rechnungswesen eingerichtet.
- Differenzierung des Controllings: Das klassische Controlling wird um die ökologische Dimension erweitert.
 - Aufgliederung der Kostenarten-, Kostenstellen- und Kostenträgerrechnungen um die ökologischen Anteilskomponenten.
 - Umweltcontrolling ist integraler Bestandteil des bestehenden Controllingsystems.

Ökologieorientiertes Controlling

Abbildung 2: Umweltcontrolling und Umweltmanagement



Ökologieorientiertes Controlling

Weitere Unterscheidung hinsichtlich zeitlicher Reichweite:

- Strategisches Umweltcontrolling:
 - Sicherstellung der Adaptionfähigkeit der Unternehmung an geänderte Rahmenbedingungen
 - Strategische Früherkennung
 - Zielgrößen (Sicherung bestehender und der Aufbau neuer Erfolgspotentiale)
- Operatives Umweltcontrolling:
 - Optimierung vorhandener Erfolgspotentiale
 - Beseitigung unternehmerischer Ineffizienzen
 - basiert auf den kostenrechnerischen Erfolgsgrößen Umweltkosten und Umweltleistungen.

Ökologieorientierte Erweiterung traditioneller Planungs- und Investitionskalküle



- Einleitung
- Ökologieorientiertes Controlling
- **Ökologieorientiertes Investitionsmanagement**
 - Anforderungen an quantitative Investitionsbewertungsverfahren
 - Instrumente der ökologieorientierten Investitionsbewertung
 - Excel-Anwendung zur ökologieorientierten Investitionsbewertung

Ökologieorientiertes Investitionsmanagement

■ **Zahlungsbestimmter** Investitionsbegriff

Die Charakterisierung über einen typischen Zahlungsstrom ist aus finanzwirtschaftlicher Perspektive durchaus passend. Sie zeigt jedoch, dass sie im Kontext eines nachhaltigen, ökologieorientierten Investitionsmanagements ungeeignet ist.

Grund

- *Erweiterung der Investitionsbewertung um eine zusätzliche Zielgröße*
 - *ökologischen Nutzen*
 - *spiegelt sich nicht zwangsläufig in Ein- und Auszahlungen wieder*



Ökologieorientiertes Investitionsmanagement

- **Vermögensbestimmter** Investitionsbegriff
 - „Investition ist der zukunftsorientierte Einsatz finanzieller Mittel für Güter, die zur Erfüllung bestimmter Ziele längerfristig genutzt werden sollen. Kurz gefasst: Eine Investition ist die zielgerichtete Bindung von Kapital.“
 - Erfolgsmessung anhand vereinbarter Ziele

Investitionen (gezielte Bindung von Kapital) [t0] = finanziellen und/oder ökologischen Nutzen und/oder sozialen Nutzen zu einem späteren Zeitpunkt verspricht [t1]

Quelle:
Lücke 1991, S. 151
Schneider
ter Horst 2009, S. 10



Ökologieorientiertes Investitionsmanagement

Zu den bekanntesten Kriterien zur Unterscheidung der Investitionsarten zählen *periphere und zentrale Kriterien*.

peripheren Kriterien:

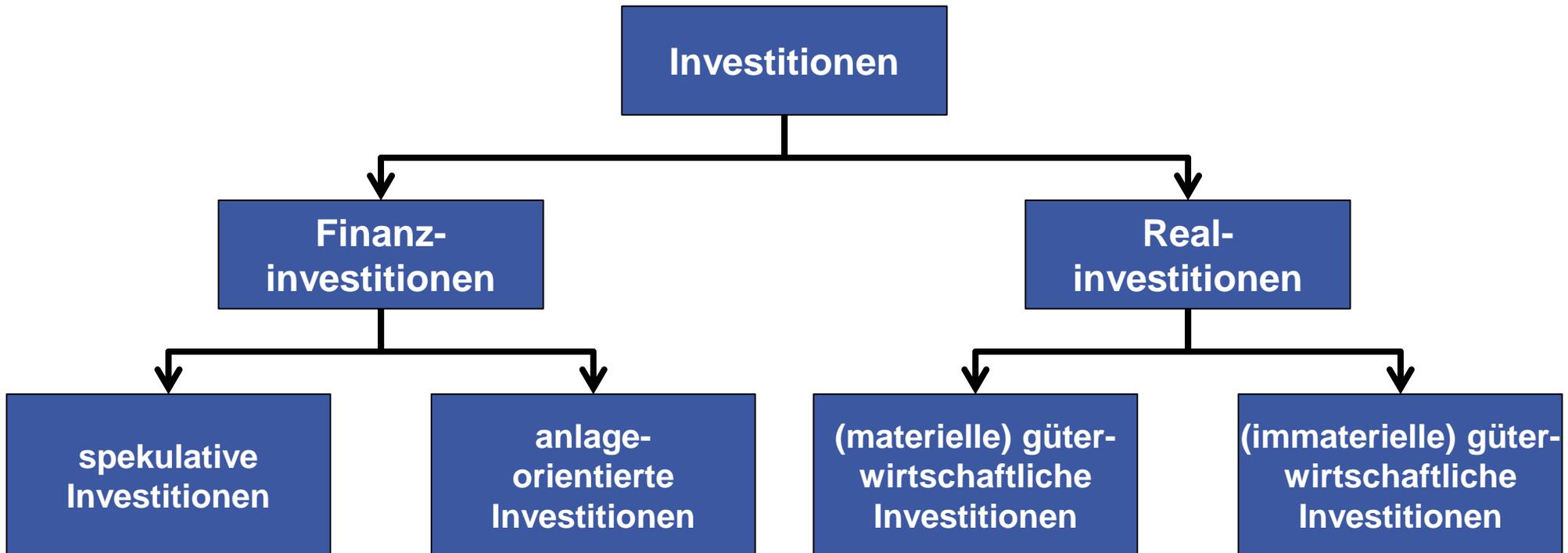
- Investitionsobjekt
- Investitionsmotiv
- Investitionsbereich
- Investitionsumfang

Nach dem Investitionsobjekt werden Investition in Finanz- und Realinvestitionen aufgeteilt.

Quelle:
Kern

Ökologieorientiertes Investitionsmanagement

Abbildung 3: Investitionsarten nach dem Investitionsobjekt (Kern)



Ökologieorientiertes Investitionsmanagement

Die Realinvestitionen werden in

- materielle (Sach-)Investitionen [Anlage- und Umlaufvermögen]
- immaterielle Investitionen [Investitionen in nicht-physische Vermögensgegenstände]

Finanzinvestitionen

- Kapitalbindung in finanzielle Anlageformen mit spekulativem bzw. anlageorientiertem Charakter.
- Forderungs- und Beteiligungsinvestitionen

Bei der Aufteilung nach dem Investitionsmotiv (Investitionsanlass) kann zwischen Errichtungs- Ergänzungs- und Ersatzinvestitionen unterschieden werden. Bei dieser Aufteilung werden üblicherweise Sachinvestitionen zugrunde gelegt.

Quelle:

Götze 2014, S. 8

Vgl. Götze 2014, S. 8

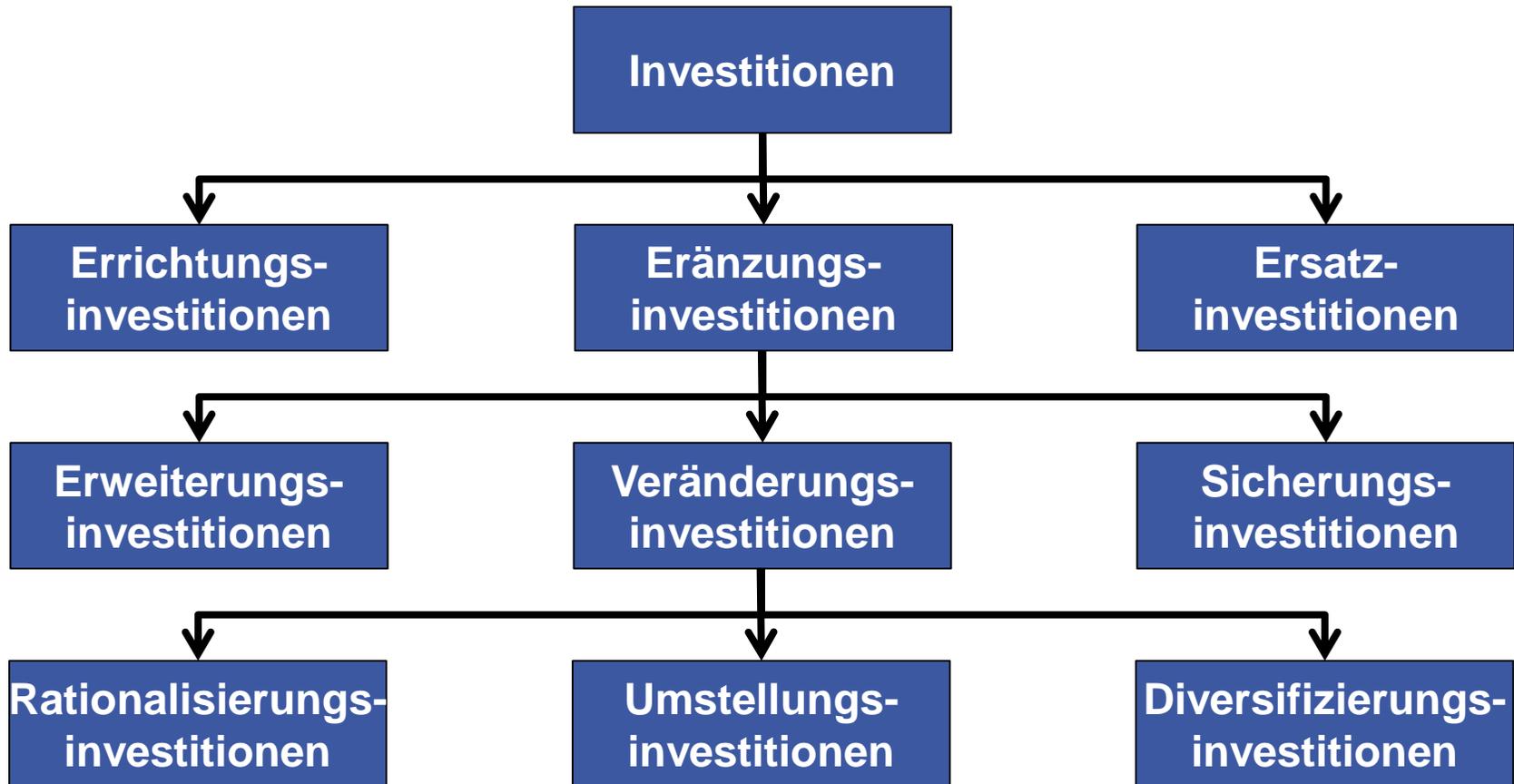
Götze 2014, S. 8

Ter Horst 2009, S. 12

Vgl. auch Götze 2014, S. 8 und Hoffmeister 2008, S. 19

Ökologieorientiertes Investitionsmanagement

Abbildung 4: Investitionsarten nach dem Investitionsmotiv (ter Horst 2009, S.12)



Ter Horst 2009, S. 12

Ökologieorientiertes Investitionsmanagement

- Errichtungsinvestitionen
 - Neu- oder Gründungsinvestitionen
- Ersatzinvestitionen
 - auch laufende Investitionen genannt
 - Großreparaturen, Überholungen gezählt
 - Substitution von Betriebsmitteln durch identische Objekte
 - Kapazitätserweiterung (Erweiterungsinvestitionen)
 - Veränderung von Unternehmensmerkmalen (Veränderungsinvestitionen)
 - Sicherung der Wettbewerbstätigkeit
 - Unternehmenssubstanz (Sicherungsinvestitionen) dienen.

Ökologieorientiertes Investitionsmanagement

Vorteilen - peripherer Kriterien

- eindeutige Abgrenzung
- Charakterisierung konkreter Investitionsprobleme
- Kaum Einfluss auf die Investitionsplanung

Zur Auswahl zielgerichteter Vorgehensweisen bei der Investitionsplanung, bietet sich die Unterscheidung nach den zentralen Kriterien an. Diese sind:

- Konsequenzen von Investitionen
 - bei quantitativ orientierter Betrachtung
 - bei qualitativ orientierter Betrachtung
 - bei temporär orientierter Betrachtung
- Interdependenzweite von Investitionen
- Ausmaß an Unsicherheit

Ökologieorientiertes Investitionsmanagement

Einteilung der Investitionsarten nach deren Konsequenzen

- quantitativ orientierte Betrachtung
 - Form der Mengen- oder Werteströme (u. a. Zahlungsströme) im Zeitablauf
- qualitativ orientierte Betrachtung
 - Verwendungszweck oder die Weiternutzung
 - unterschiedlich Nutzungsdauern (oder Laufzeiten)
 - Konsequenzen am Ende der Nutzung (z. B.: einmalige Investition oder mehrmalige Investition)

Ökologieorientiertes Investitionsmanagement

strategische und operative Investitionen

Kriterium ist in diesen Fällen die Bedeutung für das Unternehmen strategischen Investitionen:

- neue oder verbesserte Produkte
- neue oder verbesserte Produktionsverfahren und Prozessstrukturen
- neue Märkte und Vertriebswege
- neue Standorte
- umfangreiche Reorganisationen
- strategisch bedingte Beteiligungen



Ökologieorientiertes Investitionsmanagement

Sie beinhalten also eine „Grundsatzentscheidung zur Entwicklung oder Anpassung langfristiger Erfolgspotentiale“. Im Vergleich dazu sind operative Investitionen weniger komplex und in der Planung weniger aufwendig (z. B.: kleinere Ersatz-, Erweiterungs- und Rationalisierungsinvestitionen).

Die Unterscheidung zwischen strategischen und operativen Investitionen dient in erster Linie dazu Die Investitionsentscheidung kann deshalb auf Bereichsebene getroffen werden.



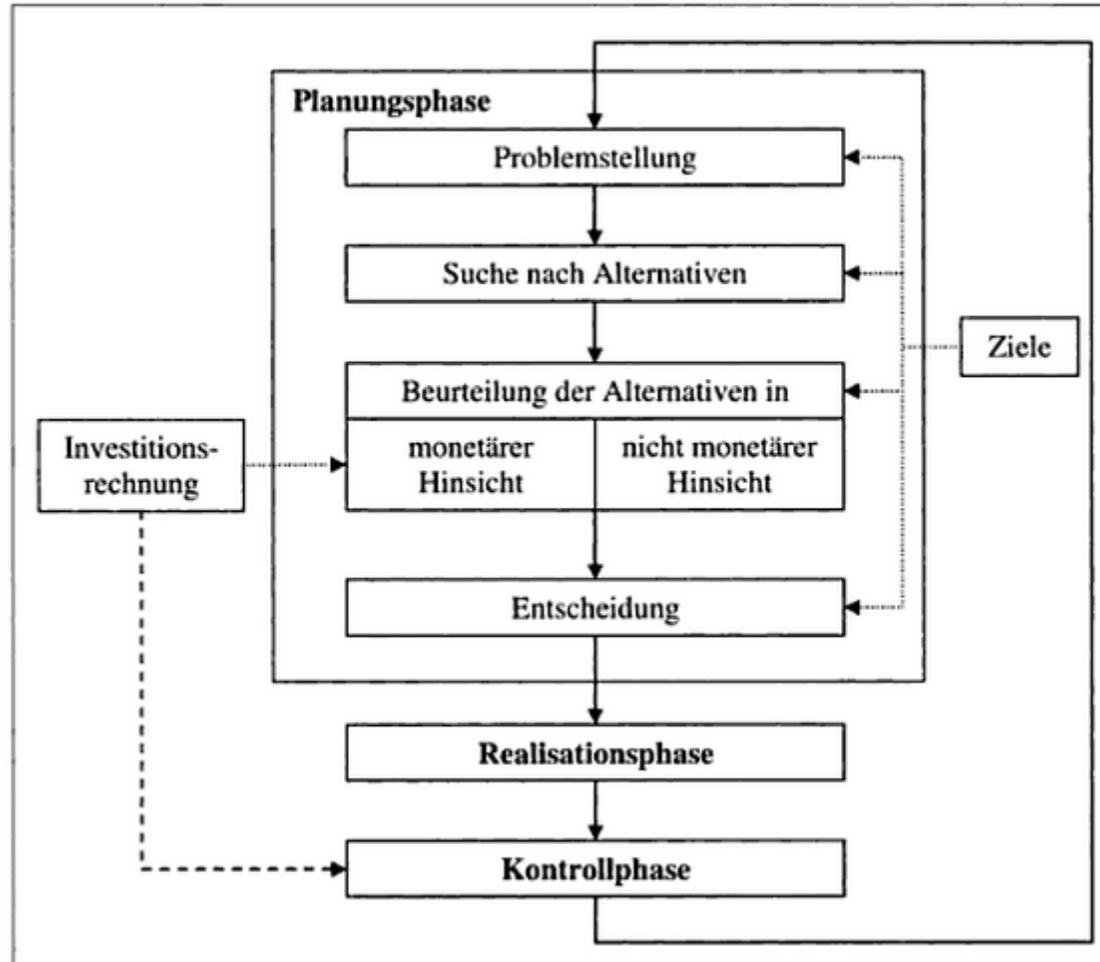
Ökologieorientiertes Investitionsmanagement

Der Investitionsprozess beschreibt den zeitlichen Ablauf der Investitionstätigkeit. Zur schematischen Darstellung der chronologischen Reihenfolge des Vorgehensmodells hat sich eine Aufteilung in drei Phasen etabliert:

- Planungsphase
- Realisationsphase
- Kontrollphase

Ökologieorientiertes Investitionsmanagement

Abbildung 5: Phasen eines Investitionsprozesses (Kruschwitz 2007)



Ökologieorientiertes Investitionsmanagement

Planungsphase

Im ersten Schritt der Planungsphase, auch Anregungsphase genannt, entsteht der Impuls eine Investition durchzuführen. Voraussetzung hierfür ist eine Analyse der Ausgangssituation und eine Problemerkennung. Darauf folgen die Suche nach Ideen/Alternativen und die Konkretisierung der Investitionsziele. Im zweiten Schritt der Planungsphase (Entscheidungsphase) werden die Investitionsalternativen auf Basis der definierten Ziele bewertet und eine Investitionsentscheidung gefällt.

Die Festlegung der Investitionsziele muss zu einem frühen Zeitpunkt des Investitionsprozesses erfolgen. Häufig wird sie als erster Schritt der Planungsphase genannt. Der Optionenraum in dem Ideen für Investitionen gesucht werden, sollte dann maßgeblich von den vorher definierten Zielen bestimmt werden. Die Zielbildung, also die Konkretisierung der Investitionsziele, kann sich jedoch über die gesamte Planungsphase erstrecken. Vorher festgelegte allgemein gehaltene Ziele können präzisiert und gegebenenfalls geändert

Quelle:

Vgl. auch Götze 2014, S. 8 und Hoffmeister 2008, S. 19



Ökologieorientiertes Investitionsmanagement

Die Wahl der Investitionsziele ist demnach entscheidend für die nachgelagerten Prozesse. Zum einen sind sie Ausgangspunkt für die Ideenfindung und die Suche nach Investitionsalternativen, zum anderen orientieren sich an ihnen die Bewertungskriterien für die Investitionsentscheidung. Für die Integration ökologischer Aspekte in den Investitionsprozess ist die Festlegung ökologieorientierter Investitionsziele folglich der wichtigste Ansatzpunkt.



Ökologieorientiertes Investitionsmanagement

Realisierungs- und Kontrollphase

- Realisierungsphase: Projektplanung, Durchführung des Projekts (Integration in Tagesgeschäft)
- Kontrollphase: Abweichung von Plan- und Ist-Werten mittels Planfortschritt und Ergebniskontrolle
- Durch die frühzeitige Erfassung von Abweichungen kann das Management noch rechtzeitig reagieren und wenn nötig gegensteuern.
- Auch Investitionsrechnung kann wieder Anwendung finden (Kapitalwert, Nutzungsdauer etc.)
- Weitere Funktion: Erfahrungsgewinn (Debriefing) für kommende Projekte

Ökologieorientierte Erweiterung traditioneller Planungs- und Investitionskalküle



- Einleitung
- Ökologieorientiertes Controlling
- Ökologieorientiertes Investitionsmanagement
- **Anforderungen an quantitative Investitionsbewertungsverfahren**
- Instrumente der ökologieorientierten Investitionsbewertung
- Excel-Anwendung zur ökologieorientierten Investitionsbewertung

Anforderungen an quantitative Investitionsbewertungsverfahren



Die in dieser Arbeit vorgestellten Investitionsbewertungsverfahren liefern als Ergebnis entweder absolute oder relative quantitative Größen zur Beurteilung der Vorteilhaftigkeit einer Investition. Die folgenden Anforderungskriterien an die Bewertungsverfahren orientieren sich deshalb an klassischen Anforderungen von Kennzahlen und Kennzahlensystemen:

Anforderungen an quantitative Investitionsbewertungsverfahren

Tabelle 1: Anforderungen an quantitative Investitionsbewertungsverfahren

Anforderung	Kriterium
Effektivität	Übereinstimmung zwischen gewünschter und gelieferter Information Beitrag zur Nachhaltigkeit
Wirtschaftlichkeit	Art der Daten Datenmenge Berechnungsaufwand Aufwand in Relation zum Nutzen
Genauigkeit	Möglichkeit von Messfehlern Unvollständigkeit der Daten Einbezug von Schätzwerten
Aktualität	Aktualität der Datengrundlage Einbezug von Zukunftsprognosen Anpassungsfähigkeit
Legitimität	Akzeptanz bei Stakeholdern

Ökologieorientierte Erweiterung traditioneller Planungs- und Investitionskalküle



- Einleitung
- Ökologieorientiertes Controlling
- Ökologieorientiertes Investitionsmanagement
- Anforderungen an quantitative Investitionsbewertungsverfahren
- **Instrumente der ökologieorientierten Investitionsbewertung**
- Excel-Anwendung zur ökologieorientierten Investitionsbewertung

Instrumente der ökologieorientierten Investitionsbewertung



Kapitalwertmethode (engl.: Net Present Value)

Der Kapitalwert bildet die Summe der monetären Zu- und Abflüsse (engl.: Cash Flows), die auf den Beginn einer Zahlungsreihe abgezinst werden.

Der Kapitalwert berechnet sich folgendermaßen:

- KW : Kapitalwert
- E_t : Einzahlung in Periode t
- A_t : Auszahlung in Periode t
- i : Zinsfuß
- T : Periodenindex
- T : Planungshorizont

$$KW = \sum_{t=0}^T \frac{E_t - A_t}{(1+i)^t}$$

Vgl. Götze 2008, S.71

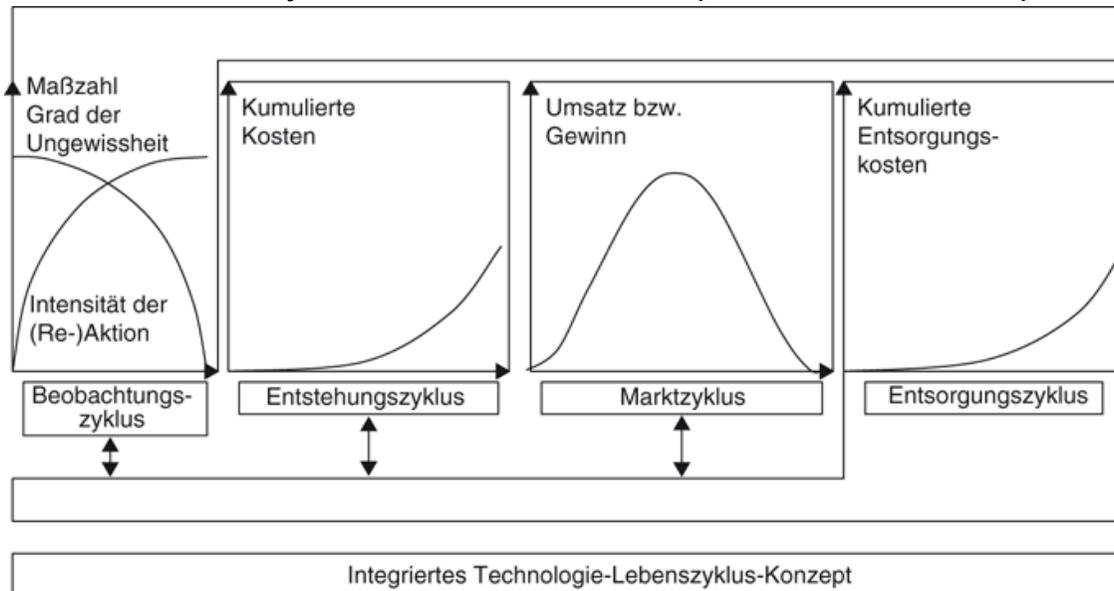
Ebd., S.72

Instrumente der ökologieorientierten Investitionsbewertung

$KW > 0$	Ertrag übersteigt Alternativenanlage
$KW = 0$	Ertrag gleich der Alternativenanlage
$KW < 0$	Alternativenanlage ist rentabler als die zu Bewertende

Modellierung typischer Zahlungsströme einer Investition:

Abbildung 6: Integrierter Lebenszyklus nach Pfeiffer (Hermann 2009)



Hermann 2009

Instrumente der ökologieorientierten Investitionsbewertung



Zinsfuß bzw. Kalkulationszinsfuß = Rendite einer Alternativenanlage

Man verwendet einen Zins, der bei einer anderen Alternativenanlage mit vergleichbarem Risiko zu erwarten ist. Je höher das Risiko, desto höher muss auch der Zinssatz sein. Ein risikoloser Zins ist in der Regel, von AAA eingestuften Staatsanleihen. Hier muss auch zwischen kurz- und langfristigen Anleihen unterschieden werden.

Schacht/Fackler 2005, S.114

Instrumente der ökologieorientierten Investitionsbewertung



Interner-Zinsfuß-Methode

Der Interne Zinsfuß einer Investition ist der Diskontierungszinsfuß , der einen Kapitalwert von 0 ergibt.

$$KW = I - \sum_{t=1}^T \frac{E_t - A_t}{(1+i)^t} = 0$$

= Rendite des gebundenen Kapitals (Investitionskosten)

Zimmermann/Fries/Hoch 2003, S.313

Kraus 2010, S.44

Instrumente der ökologieorientierten Investitionsbewertung



Annuitätenmethode

- Rente, die der Investor pro Periode entnehmen kann
- Vorteilhaftigkeit pro Periode
- Kapitalwert einer Investition wird gleichmäßig auf die Perioden verteilt

Berechnet wird die Annuität (Ann) einer Zahlungsreihe, in dem der Kapitalwert (KW) mit dem Kapitalwiedergewinnungsfaktor (Kehrwert des Rentenbarwertfaktors) multipliziert wird:

$$\text{Ann} = \text{KW} \cdot \frac{(1+i)^T \cdot i}{(1+i)^T - 1}$$

Vgl. Obermeier/Gasper 2008, S.57

Vgl. Peters 2009, S.119

Vgl. Götze 2008, S.94

Instrumente der ökologieorientierten Investitionsbewertung



Dynamische Amortisationsrechnung

bestimmt die Amortisationsdauer einer Investition im Rahmen der Kapitalwertberechnung

$$\text{Amortisationszeit} = \frac{\text{eingesetztes Kapital}}{\text{durchschnittliche Rückflüsse}}$$

Ebd. , S.64

Vgl. Ebd. , S.108

Instrumente der ökologieorientierten Investitionsbewertung



Integration der Umweltbelastung in die dynamische Investitionsrechnung

Die dynamische Investitionsrechnung bietet aufgrund der enthaltenen Parameter verschiedene Ansatzpunkte zur Integration ökologischer Aspekte.

Instrumente der ökologieorientierten Investitionsbewertung



Einzahlungen

Typische ökologieverbundene Erträge, die bei der Ermittlung der Einzahlungen berücksichtigt werden sollten:

- Subventionen
- Zuschüsse
- Preise
- Erträge aus Altstoffverkäufen

Auszahlungen

Interne Umweltkosten sind Kosten, die vom Unternehmen wirtschaftlich zu tragen und damit finanzwirtschaftlich auch wirksam sind. Eine mögliche Datenbasis für die Kalkulation dieser Kosten stellt die Flusskostenrechnung (Material- und Energieflüsse) dar.

Mögliche Vorteile

- Materialflüsse über die gesamte Wertschöpfungskette sichtbar
- Einsparpotentiale können erkannt werden

Instrumente der ökologieorientierten Investitionsbewertung



Erweiterung der konventionellen Investitionsrechnung durch Integration von Material- und Energieflüssen (Umweltbundesamt)

Die Einsatzeffizienz von Material und Energie gewinnt mit steigendem Kostendruck und Umweltbewusstsein stetig an Bedeutung. Jede Investitionsentscheidung trägt so zur Gestaltung der zukünftigen Material- und Energieflüsse und damit zur Gestaltung der Betriebskosten und der Umweltwirkungen dieser Anlage bei. (für Sachanlagen)

Ziele der Material- und Energieflusskostenrechnung:

- eine verbesserte Datenbasis für Investitionsentscheidungen auf Grundlage der voraussichtlichen Material- und Energieverbräuche bzw. Materialverluste und Emissionen der Anlage zu schaffen, um
- die Wirtschaftlichkeit der Investitionsentscheidung auf Basis der Materialeffizienz und Umweltwirkung besser bewerten zu können.

Instrumente der ökologieorientierten Investitionsbewertung



Erweiterung der konventionellen Investitionsrechnung durch Integration von Material- und Energieflüssen (Umweltbundesamt)

Für die Bestimmung dieser Kosten schlägt das Umweltbundesamts folgendes Vorgehensmodell vor:

- Festlegen der einzelnen Investitionsalternativen und Szenarien
- Datenerhebung und Auswertung
- Ermittlung der Mengenreihen
- Erstellung der Zahlungsreihen
- Durchführung der eigentlichen Investitionsrechnung (z.B. Ermittlung des Kapitalwerts)
- Berücksichtigung der Szenarien
- Ermittlung der mit den einzelnen Investitionsalternativen verbundenen qualitativen Faktoren
- Zusammenfassung aller quantitativer und qualitativer Faktoren zu einer Investitionsempfehlung

Instrumente der ökologieorientierten Investitionsbewertung

Verschiedene Umweltkosten und Schwierigkeit der Erhebung (EPA):

<p>Abfall- und Emissionsbehandlung Behandlungskosten</p>	<p>Anlagen zur Behandlung von Abfällen: Anschaffungskosten Instandhaltungskosten Betriebsmittel Personalkosten</p> <p>Rückstellungen für Umwelthaftungen und Altlastensanierung Logistische Kosten für Lagerung, Transport von Abfall Entsorgungskosten Erhöhte Versicherungsgebühren für höheres Störfallrisiko Dokumentation und Überwachung von Emissionen und Abfällen Rücknahmeverpflichtungen, Demontagekosten</p>
<p>Material- und Energieflusskosten (ohne Behandlungskosten)</p>	<p>Anschaffungspreise Logistische Kosten (Lagerung, Transport) anteilige Personalkosten</p>
<p>Vorsorge und Umweltmanagement Vermeidungskosten</p>	<p>F&E für Vermeidungsmaßnahmen Zusätzliche Anschaffungskosten für IPPC-Anlagen Zusätzliche logistische Kosten für IPPC - Anlage</p>
<p>Nicht Produkt Output Verschwendungskosten</p>	<p>Materialeinkaufswerte des NPO Rohstoffe Verpackungsmaterial Hilfsstoffe Betriebsmittel Energie Wasser</p> <p>Herstellungskosten des NPO Logistische Kosten Anteiliger Personalaufwand</p>

Instrumente der ökologieorientierten Investitionsbewertung



Über kalkulatorische „Kosten“ (monetarisierte Umweltbelastung):

- Folgewirkungen, die zwar von den Unternehmen verursacht werden, aber von Dritten und/oder der Allgemeinheit zu tragen sind (externe Kosten, soziale Kosten, Zusatzkosten)
- Kostensätze des Bundesumweltamts
- Kosten zur Vermeidung

Weitere Methoden:

- Wertschöpfungsmethoden
- Schätzung der Kosten zur Schadensverringern
- Aufwendungen zur Kompensation von Umweltschäden
- Hedonische Bewertungsmethode, Aufwands- und Reisekostenmethoden
- Contingent valuation
- Attributbasierte Bewertungsansätze
- Partizipative Bewertungsmethoden

Instrumente der ökologieorientierten Investitionsbewertung



Zahlungsbereitschaft zur Vermeidung (2 Ansätze)

Willingness to pay, die Zahlungsbereitschaft, und Willingness to sell, die Entschädigungsforderung

Bei der Willingness to pay wird festgestellt, welchen Geldbetrag die Betroffenen zahlen würden, (a) für den Fall einer Verbesserung der Umweltqualität oder (b) für den Fall einer Verhinderung der Verschlechterung der Umweltqualität. Bei der Willingness to sell wird festgestellt, welcher Geldbetrag an die Betroffenen gezahlt werden muss, damit sie bereit sind, (a) auf eine Verbesserung der Umweltqualität zu verzichten oder (b) eine Verschlechterung der Umweltqualität in Kauf zu nehmen.

Maßgeblich für die Quantifizierung der externen Kosten sind die mit ihnen korrespondierenden Schadenskosten. Um diese zu bestimmen, müssen einerseits Indikatoren für diejenigen Kosten gefunden werden, die mit einer relevanten Umweltauswirkung verbunden sind.

Instrumente der ökologieorientierten Investitionsbewertung



Zu diesem Zweck können folgende Kostenkategorien herangezogen werden:

Wiederherstellungs und Beseitigungskosten, die durch die Beseitigung eines Schadens entstehen, der durch eine Umweltqualitätsverschlechterung hervorgerufen wurde (z.B. Beseitigung von Korrosionsschäden an Gebäuden)

Ausweichkosten (auch Anpassungs- oder Substitutionskosten) als die zusätzlichen Kosten, die beim Ersatz eines Gutes durch ein anderes anfallen, wenn auf diese Weise das Eintreten eines Schadens verhindert werden soll (z.B. die Mehrkosten, die durch den Ersatz von schadstoffbelastetem Trinkwasser durch Mineralwasser oder für den Einbau von Lärmschutzfenstern entstehen, oder Kosten eines umwelt-, z.B. lärmbedingten Umzugs)

Kompensationskosten für den Ausgleich eines Schadens an anderer Stelle (z.B. die Kosten der Pflanzung mehrerer junger Bäume auf einer Brachfläche als Ausgleich für die ökologische Funktion eines durch Luftverschmutzung geschädigten ausgewachsenen Baumes).

Instrumente der ökologieorientierten Investitionsbewertung



Andererseits sind zusätzlich diejenigen Kosten zu berücksichtigen, die durch nicht vermiedene oder nicht zu vermeidende Umweltschäden verursacht sind: Hierzu zählen zum Beispiel Nutzeneinbußen durch die Beeinträchtigung der Lebensqualität durch Umweltverschmutzung, chronische Gesundheitsschäden oder Ertragsverluste aufgrund von Produktivitätsveränderungen sowie erforderliche Überwachungskosten.

Außerdem ist bei der Analyse der Zahlungsbereitschaft, vor allem mit Blick auf die Wiederherstellungs- und Beseitigungskosten, genau zu hinterfragen, ob beispielsweise die luftverschmutzungsbedingten Materialinstandhaltungskosten von den Betroffenen auch tatsächlich gewünscht werden.

Gründe für die Rechnung mit externen Kosten liegen vor, wenn gegenwärtig externe Kosten im Laufe einer Planungsperiode durch die Änderung politischer oder ökologischer Rahmenbedingungen ganz oder teilweise internalisiert und damit zu betriebswirtschaftlich relevanten Kosten werden, oder wenn der explizite Umgang mit den externen Kosten des eigenen Handelns als Kommunikationsinstrument, sei es auf öffentlichen Druck, sei es im Rahmen der unternehmerischen Marketingstrategie, von Bedeutung ist.

Instrumente der ökologieorientierten Investitionsbewertung



Bewertung bei Verfügbarkeit von Marktpreisen

Marktpreise sind Knappheitsindikatoren

Die Bewertung zu Marktpreisen stellt in folgenden Fällen eine valide Schätzung des Umweltschadens dar:

Die Wertschöpfung ändert sich:

Der ökonomische Nutzenverlust, der mit einer Beeinträchtigung der Umweltqualität einhergeht, entspricht dem Rückgang der Wertschöpfung. Beispielsweise kann sich eine verschlechterte Gewässerqualität in erhöhten Wasseraufbereitungskosten für die betriebliche Nutzung niederschlagen, oder eine verschlechterte Bodenqualität kann zu Produktionsausfällen in der Landwirtschaft führen. Es können auch erhöhte Kosten durch notwendige Substitutionsmaßnahmen, etwa durch die Notwendigkeit des Fremdbezugs von Wasser, auftreten. Beispielhaft wird dies anhand von Ertragsverlusten in der Landwirtschaft in Kapitel erläutert.

Instrumente der ökologieorientierten Investitionsbewertung



Schäden lassen sich durch geeignete Maßnahmen verringern oder beheben: Falls man durch Reparatur oder Sanierung die Qualität des geschädigten Gutes wieder herstellen kann, nimmt man die Kosten der Wiederherstellungsmaßnahmen als Maßstab für den Umweltschaden. Sofern sich die Schäden nicht vollständig beheben lassen, stellen diese Schätzungen eine Untergrenze des Nutzenverlustes dar.

Funktionsverluste lassen sich durch geeignete Maßnahmen beheben:

Der Bewertungsansatz basiert auf der Schätzung der Kosten der Ersatz- oder Ausgleichsmaßnahmen, die auf die Wiederherstellung der Funktionen des Naturhaushaltes zielen. Anwendbar ist dieser Bewertungsansatz, falls sich die Schäden zwar nicht beheben lassen, es aber möglich ist, einen Ausgleich an anderer Stelle der Volkswirtschaft (Beispiel: Naturschutzrechtliches Ausgleichsgebot) oder durch produzierte Güter (Beispiel: Technische statt natürliche Hochwasserschutzmaßnahmen) zu schaffen.

Instrumente der ökologieorientierten Investitionsbewertung



Verfahren zur Bestimmung der Umweltauswirkung einer Investition

= rein ökologische Betrachtungen

Grundlage für die Erfassung sind physikalische Größen

Datenerfassungsmethoden zur Auswahl der Datengrundlage:

- statistische Analyse
- Input-Output-Analyse
- Prozessanalyse
- Hybridmethode

Instrumente der ökologieorientierten Investitionsbewertung



Statistische Analyse

Basiert auf veröffentlichte Daten, wie z.B.:

- Emissionskataster
- Energie- und Emissionsstatistiken
- Publikationen
- statistischer Ämter

Es handelt sich um aggregierte Daten, die beispielsweise auf Branchenebene Aussagen über die Umweltleistung typischer Produkte zulassen. Diese Informationen sind dann aussagekräftig, wenn eine weitgehend homogene Produkt- und Produktionsstruktur besteht.

Die Methode ist also nicht geeignet, um detaillierte Informationen über die Umweltleistung einer konkreten Unternehmenswertschöpfungskette zu liefern.

Für eine erste Beurteilung ist sie jedoch geeignet.

Instrumente der ökologieorientierten Investitionsbewertung



Input-Output-Analyse

Bei der Input-Output-Analyse wird versucht, die Ströme an Gütern und Dienstleistungen zwischen verschiedenen Wirtschaftszweigen hinsichtlich ihrer Umweltbelastung zu quantifizieren.

Input-Output-Analysen setzen immer einen Umweltbelastungsfaktor in Relation zu einer monetären Größe. Die Zuordnung der physikalischen Größe zur monetären Größe stellt die größte Herausforderung dar.

Außerdem ist die Aktualität der Daten von großer Wichtigkeit, um veränderte Strukturen der Sektoren berücksichtigen zu können. Wie bei der statistischen Analyse kann wieder nur ein typisches Produkt betrachtet werden. Für eine genauere Analyse ist das Aggregationsniveau zu hoch.

Instrumente der ökologieorientierten Investitionsbewertung



Stoff- und Energieflussanalyse

Die Stoff- und Energieflussanalyse ist eine von einzelnen Produktlebensstufen ausgehende, detaillierte, physikalisch-chemische Analyse. Dabei erfolgt eine Untergliederung der Produktlebensphasen (Produktion, Distribution, Konsum und Entsorgung) in ihre jeweiligen konkreten Prozessstufen. Für jeden dieser Teilprozesse werden alle stofflichen und energetischen In- und Outputs quantifiziert. Jeder Input in eine Prozessstufe kann zurückverfolgt werden und bedingt deshalb eine Erweiterung der Analyse um die Prozesse, welche zur Herstellung dieses Inputs notwendig waren.

In der Praxis erfolgen i.d.R. zuerst eine Analyse von Güter- und Energieträgerflüssen und anschließend eine detailliertere Betrachtung aller Stoff- und Energieflüsse.

Instrumente der ökologieorientierten Investitionsbewertung



Hybridmethode

Unter Hybridmethoden werden die Methoden zusammengefasst, die aus Kombinationen aus den oben genannten Analysen bestehen und in der Praxis häufiger auftreten. In diesen Fällen bleibt die Stoff- und Energieflussanalyse die Bewertungsgrundlage. Diese kann dann durch statistische Methoden oder Input-Output-Analysen ergänzt werden, um die Wichtigkeit von Stoff- und Energieströmen, „die das System verlassen oder außerhalb liegen“, bewertet werden. Dies trägt dazu bei Über- oder Unterbewertungen bestimmter Schadstoffgruppen zu verhindern und ermöglicht eine ganzheitlichere Gewichtung der Umweltleistungskennzahlen.

Schaltegger

Instrumente der ökologieorientierten Investitionsbewertung



Ökobilanzierung

Unter einer Ökobilanz versteht man im Allgemeinen die Erfassung der Umweltbelastungen über den vollständigen Lebenszyklus eines Produktes oder Prozesses, die mit einem Gewichtungsfaktor multipliziert zu einer aggregierten Größe summiert werden. Das Ziel der Ökobilanzierung ist die Vergleichbarkeit der Umweltbelastung verschiedener Objekte.

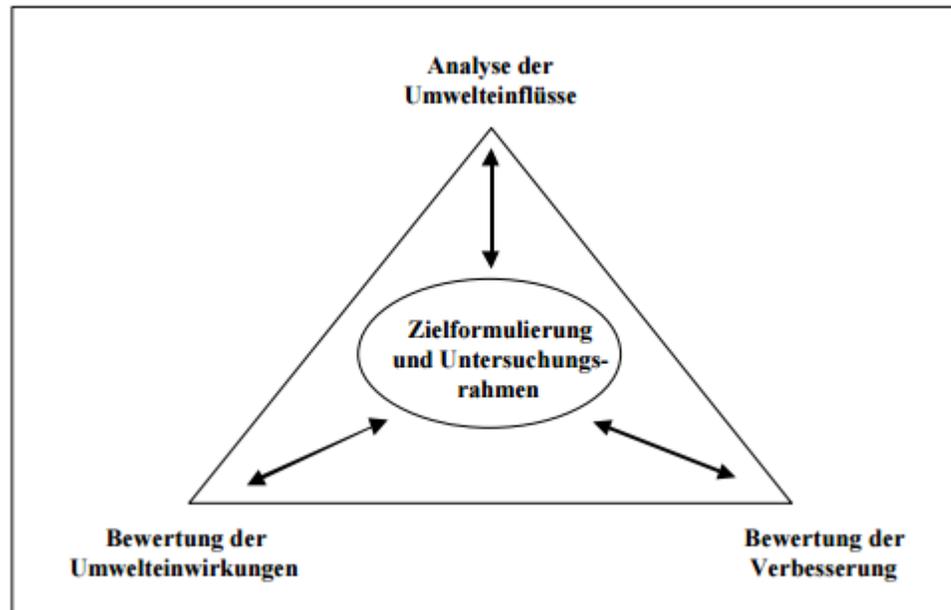


Abbildung 41: Konzeption der LCA nach DIN EN ISO 14040

Instrumente der ökologieorientierten Investitionsbewertung



Ökobilanzierung nach Müller-Wenk

Müller-Wenk verwendet das Konzept der ökologischen Knappheit zur Berechnung seiner Äquivalenzkoeffizienten genannten Gewichte. Die ökologische Knappheit ist für eine bestimmte Einwirkungsart bzw. das hiervon betroffene Umweltgut definiert. Sie ist eine Funktion des gegenwärtigen Ausmaßes der Summe aller Einwirkungen innerhalb eines relevanten räumlichen Bereichs sowie des kritischen Ausmaßes dieser Einwirkung, welches den Übergang des entsprechenden Umweltgutes von einem akzeptablen in einen inakzeptablen Zustand beschreibt. Er unterscheidet zwischen Kumulativ- und Ratenknappheit. Kumulativknappheit gilt für nicht regenerierbare Umweltgüter (z.B. Erdöl, Bodenversiegelung usw.). Mit jeder zusätzlichen Inanspruchnahme des Umweltgutes – sei es durch Verbrauch einer Ressource oder durch Immissionen – nähern wir uns kumulativ dessen Erschöpfung, da der Gesamtvorrat einer Ressource resp. die nicht regenerative Aufnahmekapazität für Immissionen nach einer endlichen Zahl von Jahren erschöpft ist. Ratenknappheit gilt für Umweltgüter, welche sich in ökologischen Kreisläufen in absehbarer Zeit selbst erneuern (z.B. Luft- und Wasserbelastungen resp. –verbrauch).

Instrumente der ökologieorientierten Investitionsbewertung



Ratenknappheit für Emissionen ist dann gegeben, wenn das Ökosystem die Belastungen bis zu einem gewissen Grad wieder abbauen kann. Die Ratenknappheit ist das Verhältnis zwischen der tatsächlichen Nutzung eines Umweltgutes und der unter Aufrechterhaltung der Selbstreinigungskraft maximal tolerierbaren Belastung pro Zeiteinheit. Müller-Wenk geht davon aus, dass für beide Knappheiten sogenannte „kritische Flüsse“ existieren, bei deren Überschreitung inakzeptable Wirkungen auftreten. Die kritischen Flüsse setzt er den tatsächlichen anthropogenen Flüssen gegenüber. Hieraus berechnet er Gewichtungsfaktoren (Äquivalenzkoeffizienten: AeK). Ihre Maßeinheit ist: Rechnungseinheiten (RE) pro physikalische Verbrauchs- oder Emissionsgröße. Die Belastung durch eine wirtschaftliche Tätigkeit ergibt sich durch die Multiplikation des AeK mit dem Verbrauch.

Instrumente der ökologieorientierten Investitionsbewertung



Monetäre Bewertungskonzepte

Die direkten Kosten zur Vermeidung oder Verminderung von Schadschöpfung (= Grenzvermeidungskosten) haben i.d.R. einen Marktpreis und sind ohne

großen Aufwand erhältlich. Der Nutzen von Umweltschutzmaßnahmen besteht in der Verminderung bestehender oder in der Verhinderung neuer Schadschöpfung. Zur praktischen Umsetzung dieser Optimierungsüberlegungen sind demnach vor allem die heute meist externalisierten Kosten von Umweltschäden zu bestimmen. Im Idealfall könnten sie in monetären Maßeinheiten ausgedrückt werden. Durch eine Saldierung der Schadens- und Vermeidungskosten ließe sich dann ein monetär ausgedrückter Nettonutzen bestimmen. Bei einer Entscheidung wäre die Alternative mit dem größten finanziellen Nettonutzen zu wählen.

Instrumente der ökologieorientierten Investitionsbewertung



Energieflussorientierte Bewertungskonzepte

Energieflussorientierte Ansätze untersuchen den Verbrauch einer einzigen

Ressource: Energie. Häufig werden unter dem Begriff „Energie“ Ressourcen im Sinne von Energieträgern, wie Erdöl, Kohle, Gas, Wasser, Sonne oder Wind, verstanden.

Demgegenüber versuchen energieflussorientierte Ansätze, den mit einem Stofffluss verbundenen Fluss von Energieinhalten zu erfassen.

Instrumente der ökologieorientierten Investitionsbewertung



Umwelteleistungsbewertung

ISO 14031

Die Norm ISO 14031 stellt eine Anleitung zur Umwelteleistungsmessung für Unternehmen dar. Es handelt sich hierbei um Vorschläge und Beispiele wie solch eine Messung durchgeführt werden kann und nicht um verbindliche Regelungen. Deshalb ist die ISO 14031 auch nicht zertifizierbar.

Die Umwelteleistungsbewertung vollzieht sich über einen Soll-Ist-Vergleich, indem die dem Management bereitgestellten Informationen über die Umwelteleistung den „festgelegten Kriterien des Managements“ gegenübergestellt werden. Als Umwelteleistungskriterien oder Sollwerte können u. a. die „allgemeinen und spezifischen Ziele“ der Organisation dienen.

Götze 2014, S. 8

Vgl. Götze 2014, S. 8

Götze 2014, S. 8

Ter Horst 2009, S. 12

Vgl. auch Götze 2014, S. 8 und Hoffmeister 2008, S. 19

Instrumente der ökologieorientierten Investitionsbewertung



Bei der Frage der Kriterienbestimmung wird zwischen Organisationen mit und ohne Umweltmanagementsystem unterschieden: Während die Organisationen mit Umweltmanagementsystem auf ihre Umweltpolitik, ihre allgemeinen und spezifischen Umweltziele sowie auf „andere Umwelleistungskriterien“ für die Kriterienauswahl rekurrieren können, sollten Organisationen ohne Umweltmanagementsystem die Umwelleistungsbewertung als unterstützendes Element zur Installation eines Umweltmanagements verwenden.

Die Umwelleistungsbewertung nach ISO 14031 sollte folgende Schritte beinhalten:

Sturm

Götze 2014, S. 8

Vgl. Götze 2014, S. 8

Götze 2014, S. 8

Ter Horst 2009, S. 12

Vgl. auch Götze 2014, S. 8 und Hoffmeister 2008, S. 19

Instrumente der ökologieorientierten Investitionsbewertung



Die Umweltleistungsbewertung nach ISO 14031 sollte folgende Schritte beinhalten:

- Kennzahlenfindung und –auswahl
- Datengenerierung und –analyse
- Bewertung der Informationen zur Umweltleistung aufgrund von entsprechenden Kriterien des Managements
- Berichterstattung und Kommunikation
- regelmäßige Überprüfung und Verbesserung der Umweltleistungsbewertung

Sturm

Instrumente der ökologieorientierten Investitionsbewertung



Planungsphase

Die Auswahl der Kennzahlen sollte nach folgenden Kriterien erfolgen:

- Wesentlichkeit und Beeinflussbarkeit der Umweltaspekte durch die Organisation
- Umweltleistungskriterien der Organisation
- Ansichten/Anliegen der Interessengruppen der Organisation

Zur Ermittlung der Wesentlichkeit der Umweltaspekte wird auf die Normen **ISO 14001** und **ISO 14004** verwiesen. Die Kennzahlen gliedert die Norm in zwei Kategorien: die Umweltzustandsindikatoren und die Umweltleistungsindikatoren.

Instrumente der ökologieorientierten Investitionsbewertung



Ansätze zur Auswahl der Kennzahlen:

- Ursache-Wirkungs-Ansatz
- Risikozentrierter Ansatz
- Lebenszyklusansatz
- Ansatz der gesetzlich verpflichtenden oder freiwilligen Umweltberichterstattung

Instrumente der ökologieorientierten Investitionsbewertung



Durchführungsphase

Die Anwendung der Umwelleistungskennzahlen geschieht durch einen Soll-Ist-Vergleich.

Prüf- und Handlungsphase

Um die Umwelleistungsbewertung zu verbessern soll Datengrundlage und die zugrundeliegenden Auswahlkriterien fortlaufend überprüft werden.

Hinsichtlich der Investitionsbewertung bietet es sich an, die Auswirkungen der Investition auf die Umwelleistungskennzahlen heranzuziehen.

Instrumente der ökologieorientierten Investitionsbewertung



Kennzahlen zur Bewertung der ökologischen Effizienz einer Investition

Die Ökologische Rückzahldauer und der Erntefaktor finden bei Umweltschutzprojekten schon seit längerer Zeit Anwendung. Ziel der beiden Verfahren ist die Bestimmung der ökologischen Nettowirkung eines Projekts. Sie gehören zu den ökologischen Investitionsrechnungen und sind geeignet die ökologische Grenzschadenkurve einer Maßnahme (Produktionsinvestitionen) oder die Grenzvermeidungskurve (bei Umweltschutzinvestitionen) zu bestimmen. Beide Kennzahlen beinhalten die Relation aus Umweltbelastung und Umweltentlastung. Im Fokus der Berechnung stehen deshalb immer die Umweltentlastung gemessen an der verursachten Schadschöpfung und nicht die absolute Umweltentlastung. Die Verfahren beschreiben demnach die ökologische Effizienz einer Investition.

Vgl. ...

Schaltegger/Sturm

Instrumente der ökologieorientierten Investitionsbewertung

Erntefaktor (EF)

Der Erntefaktor (Ecological Rate-of-Return) misst im Gegensatz zur Ökologischen Rückzahldauer nicht die Zeit, die benötigt wird, um eine Umweltentlastung zu erzielen, sondern ob sich die Maßnahme überhaupt positiv auf die Umweltleistung (des Unternehmens) auswirkt. Er entspricht der Relation aus reduzierter Schadschöpfung während der gesamten Nutzungsdauer und der Schadschöpfung, die durch die Investition verursacht wurde:

$$\text{Erntefaktor (EF)} = \frac{\text{reduzierte Schadschöpfung während der Nutzungsdauer}}{\text{durch die Maßnahme verursachte Schadschöpfung}} \left[\frac{\text{SE}}{\text{SE}} \right]$$

Ein Erntefaktor größer 1 bedeutet also eine Umweltentlastung. Die Maßnahme ist ökologisch effizient. Ein Erntefaktor kleiner 1 deutet folglich auf eine Ineffizienz hin. Für den Fall, dass die betrachteten Investitionen die Schadschöpfung nicht reduzieren, sondern erhöhen (negativer Zähler), ist die Investition zu bevorzugen, deren Erntefaktor am nächsten zu 0 ist.

Instrumente der ökologieorientierten Investitionsbewertung



Ökologische Rückzahldauer (ORZ)

Die Ökologische Rückzahldauer (Ecological Payback Period) ist ein zeitliches Maß zur Ermittlung der ökologischen Effizienz einer Investitionsmaßnahme. Sie wird berechnet, indem die verursachte Schadschöpfung einer Maßnahme (z.B. bei der Herstellung einer Maschine) durch die Umweltentlastung geteilt wird, die während der Nutzungsdauer pro Jahr oder Periode anfällt (z.B: gesenkter Emissionsausstoß durch weniger Energieverbrauch):

$$\text{ORZ (Jahre)} = \frac{\text{durch die Maßnahme insgesamt verursachte Schadschöpfung}}{\text{gesamte verminderte Schadschöpfung während der Nutzungsdauer pro Jahr}} \left[\frac{\text{SE}}{\text{SE/Jahr}} \right]$$

Wenn die Ökologische Rückzahldauer länger ist als die geplante Nutzungsdauer der Investition, führt die Maßnahme zu einer Umweltentlastung. Die ORZ kann also als ökologische Amortisationsdauer einer Maßnahme interpretiert werden.

Instrumente der ökologieorientierten Investitionsbewertung



Verfahren zur Messung der Öko-Effizienz

Unter Öko-Effizienz (auch ökonomisch-ökologischen Effizienz) versteht man im Allgemeinen das Verhältnis aus einer ökonomischen Größe zu einer ökologischen Größe. Zur Bestimmung der Öko-Effizienz wird ein ökonomischer Wert mit der aggregierten Umweltleistung einer Investition ins Verhältnis gesetzt. So ist es möglich, finanzielle und ökologische Zielgrößen gleichzeitig zu betrachten.

Geprägt wurde der Begriff der Öko-Effizienz durch das World Business Council for Sustainable Development (WBCSD), das diesen 1990 von Schaltegger/Sturm (1998) aufgegriffen hat:

„Eco-efficiency is achieved by the delivery of competitively-priced goods and services that satisfy human needs and bring quality of life, while progressively reducing ecological impacts and resource intensity throughout the life-cycle to a level at least in line with the earth's estimated carrying capacity.“

Für das Verhältnis aus ökonomischen und ökologischen Größen, lassen sich vier Grundtypen unterscheiden.

Instrumente der ökologieorientierten Investitionsbewertung



Abbildung 11: Varianten der Öko-Effizienz (Huppel/Ishikawa 2005, S. 11)

Table 1.1 Four basic variants of eco-efficiency

	<i>Product or production prime</i>	<i>Environmental improvement prime</i>
<i>Economy divided by environment</i>	Production/consumption value per unit of environmental impact: 1 environmental productivity	Cost per unit of environmental improvement: 3 environmental improvement cost
<i>Environment divided by economy</i>	Environmental impact per unit of production/consumption value or: 2 environmental intensity	Environmental improvement per unit of cost: 4 environmental cost-effectiveness

Instrumente der ökologieorientierten Investitionsbewertung



BASF Eco-Efficiency Analysis Method

Die *Eco Efficiency Analysis Method* der BASF gehört zu den bekanntesten Umsetzungen der Öko-Effizienzanalyse und ist seit ihrem Entstehen in zahlreichen Studien getestet worden. Die Methode basiert auf den Arbeiten des World Business Council for Sustainable Development, verfügt jedoch über ein eigenständiges Vorgehensmodell. Das definierte Ziel der Methode ist die Quantifizierung der Nachhaltigkeit von Produkten und Prozessen

Saling et al. 2002

Ebd.

Instrumente der ökologieorientierten Investitionsbewertung



Die Anwendung der Methode umfasst folgende Aspekte:

- Kalkulation der Gesamtkosten aus Kundensicht
- Vorbereitung einer spezifischen Lebenszyklus-Analyse für alle betrachteten Produkte oder Prozesse nach den Anforderungen der ISO 14040ff
- Bestimmung der Auswirkungen auf die Gesundheit
- Bestimmung der Gefahren für die Umwelt
- Bestimmung von Risikopotentialen
- Gewichtung der Lebenszyklusanalyse
- Bestimmung der Relation zwischen Ökologie und Ökonomie
- Analyse der Schwächen
- Beurteilung von Szenarien
- Sensitivitätsanalyse
- Geschäftsmöglichkeiten
- optional: Einbezug von sozialen Aspekten

Instrumente der ökologieorientierten Investitionsbewertung



Kernelemente der Methode sind die Gesamtkosten aus Kundensicht sowie Umweltauswirkungen des Produktes oder des Prozesses unter Berücksichtigung des vollständigen Lebenszyklus. Die Gesamtkosten erfassen nur tatsächlich auftretende Kosten (auch zukünftige Kosten). Die Umweltauswirkungen umfassen in diesem Fall alle kalkulierten Kriterien, die noch nicht in der Gesamtkostenrechnung abgebildet sind. Zur Bestimmung dieser Umweltauswirkungen wird ein ökologisches Profil erstellt. Die Daten hierzu stammen typischerweise aus den einzelnen Fabriken.

Instrumente der ökologieorientierten Investitionsbewertung



Erfassung der Umwelleistung

Die Datenbeschaffung und Kalkulation wird gemäß der ISO 14040ff durchgeführt. Es werden folgende Umweltkennzahlen verwendet:

- Energieverbrauch
- Emissionen (Luft, Wasser, Feststoffabfall)
- (Roh-)Materialverbrauch
- Möglicher Giftgehalt
- Missbrauchs- und Risikopotential

Energieverbrauch

Der Energieverbrauch der betrachteten Alternativen setzt sich aus den spezifischen Verbräuchen für u. A. Stein- und Braunkohle, Öl, Gas, Kernenergie, Wasserkraft und Biomasse über den gesamten Lebenszyklus zusammen. Für die Aggregation des Gesamtverbrauchs werden die Brennwertäquivalente der Energieressourcen benutzt.

Instrumente der ökologieorientierten Investitionsbewertung



Emissionen (Luft, Wasser, Feststoffabfall)

Die Emissionen in die Luft werden verschiedenen Wirkungskategorien (Impact categories) zugeordnet. Diese sind: *Global Warming Potential*, *Ozone Depletion Potential*, *Photochemical Ozone Creation Potential* und *Acidification Potential*. Den unterschiedlichen Emissionen werden nun je Kategorie mit Faktoren versehen und als CO₂-Äquivalente ausgedrückt. So entsteht ein einzelner Wert Emissionswert der Alternative pro Kategorie. Um die unterschiedlichen Emissionen ins Wasser anzugleichen, werden Grenzwerte verwendet wie viel Milligramm der Substanz im Wasser sein dürfen. Die Wassermenge in Litern, die nötig ist, um diesen Grenzwert zu erreichen, kann für jede Substanz berechnet und zu einer Gesamtgröße aggregiert werden. Die Bodenemissionen, also der Feststoffabfall, wird anhand der Deponiekosten aggregiert.

(Roh-)Materialverbrauch

Die verwendeten Rohmaterialien werden mit Knappheitsfaktoren multipliziert. Basis der Faktoren ist die Verfügbarkeit der Materialien in Jahren auf Grundlage des heutigen Verbrauchs. Die BASF verwendet hierzu u. A. Daten der US Geological Survey.

Instrumente der ökologieorientierten Investitionsbewertung



Möglicher Giftgehalt

Die Grenzwerte für das Giftpotential orientieren sich an EU-Richtlinien und dem deutschen Chemikaliengesetz. Nur bei Fehlen gesetzlicher Bestimmungen werden eigene Grenzwerte verwendet. Die Grenzwerte beziehen sich auf erlaubte Konzentrationen pro Kilogramm und werden als arithmetische Größen zur Gewichtung genutzt. Der aggregierte Giftgehalt ist also die Summe der mit ihren entsprechenden Faktoren multiplizierten Giftmengen ausgedrückt in Punkten).

Missbrauchs- und Risikopotential

Das Missbrauchs- und Risikopotential wird auf Basis der Statistik für Arbeitsunfälle hinsichtlich Eintrittswahrscheinlichkeit und Ausmaß beim Auftreten bestimmt und als relatives Risiko pro Risikokategorie ausgedrückt.

Instrumente der ökologieorientierten Investitionsbewertung



Aggregation der Umweltleistung

Um die Umweltleistung in einer einzigen Größe auszudrücken, werden die Ergebnisse der Umweltkennzahlen normiert. Die Alternative mit dem schlechtesten Ergebnis in der jeweiligen Kategorie (Umweltkennzahl) erhält den Wert 1, die anderen Alternativen werden proportional angeglichen (Werte zwischen 0 und 1). Die einzelnen Werte einer Alternative werden mit den Gesamtgewichtungsfaktoren pro Umweltkennzahl multipliziert und zu einer aggregierten Umweltleistung der Alternative zusammengefasst.

Für die Bestimmung der Gesamtgewichtungsfaktoren werden *Relevance weighting factors* und *Social weighting factors* formuliert. Die *Relevance weighting factors* berücksichtigen die Bedeutung der Umweltkategorie für die betreffende Region, um Über- oder Unterbewertung einer spezifischen Umweltkennzahl zu vermeiden.

$$Relevance_{\text{environmental category}} = \frac{\text{Average environmental impact of an option}}{\text{Total environmental impact of a region}}$$

Instrumente der ökologieorientierten Investitionsbewertung



Die Social weighting factors gewichten die Umweltkennzahlen auf Grundlage der öffentlichen Meinung mittels Marktforschung. Die Gesamtgewichtungs-faktoren sind dann das normierte Produkt aus Relevance weighting factors und Social weighting factors (Abbildung unten).



Instrumente der ökologieorientierten Investitionsbewertung

Table 8: Calculation of the relevance factors. As an example, the energy consumptions of the alternatives are used

	BASF Indigo granules (synthetic)	Indigo powder from plants	Biotechnologically produced Indigo	BASF Indigo, vat solution 40%, dyed traditionally	BASF Indigo, vat solution 40%, dyed electro-chemically
Energy consumption [MJ/1000 jeans]	12219	18998	11706	14720	11639
Factor for Germany [PJ]	14200	14200	14200	14200	14200
Relevance [%]	$12219/14200 = 86$	$18998/14200 = 134$ (Maximum)	$11706/14200 = 82$	$14720/14200 = 104$	$11639/14200 = 82$

Table 9: Determination of the relevance factors for each category

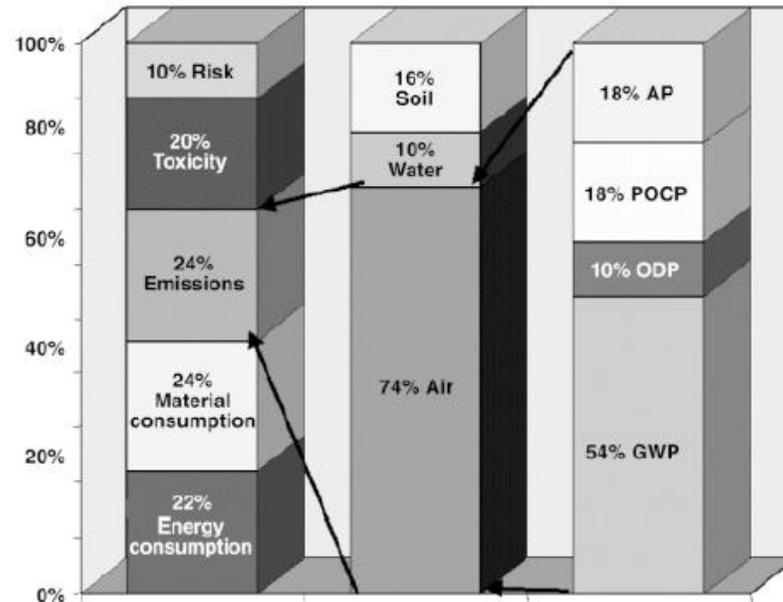
	Energy consumption	Emissions	Raw materials consumption	Toxicity potential	Risk potential
Max. Relevance factor [%]	134	178	147		
Relative relevance weighting factor [%]	29	39	32	*	*

* Relevance factors are under development

	Energy consumption	Emissions	Raw materials consumption	Toxicity potential	Risk potential
Relevance weighting factor [%]	29	39	32		
Societal weighting factors [%]	25	20	25	20	10
Overall weighting factor [%]	$29 \cdot 25 = 7$	$39 \cdot 20 = 8$	$32 \cdot 25 = 8$		
Overall weighting factor [%], normalized	22	24	24	20	10

Die Übersicht über die Gesamtgewichtungsfaktoren legt offen, welchen Umweltkennzahlen die größte Bedeutung zukommt und in welchen Bere...

Instrumente der ökologieorientierten Investitionsbewertung



Instrumente der ökologieorientierten Investitionsbewertung



Bestimmung der Öko-Effizienz

Analog zur Bestimmung der Relevance weighting factors, werden auch die Kosten in Relation zu einer ökonomischen Bezugsgröße der betreffenden Region (z. B: Umsatz, BIP etc.) gewichtet, dies dient hauptsächlich zu Vergleichszwecken:

Daraus resultiert das Verhältnis der Umweltleistung zu den Kosten:

$$Relevance_{costs} = \frac{Maximal\ cost\ of\ options}{Sales\ of\ total\ manufacturing\ industry\ in\ the\ region}$$

$$E/C\ ratio = \frac{Relevance_{environment}}{Relevance_{costs}}$$

Instrumente der ökologieorientierten Investitionsbewertung



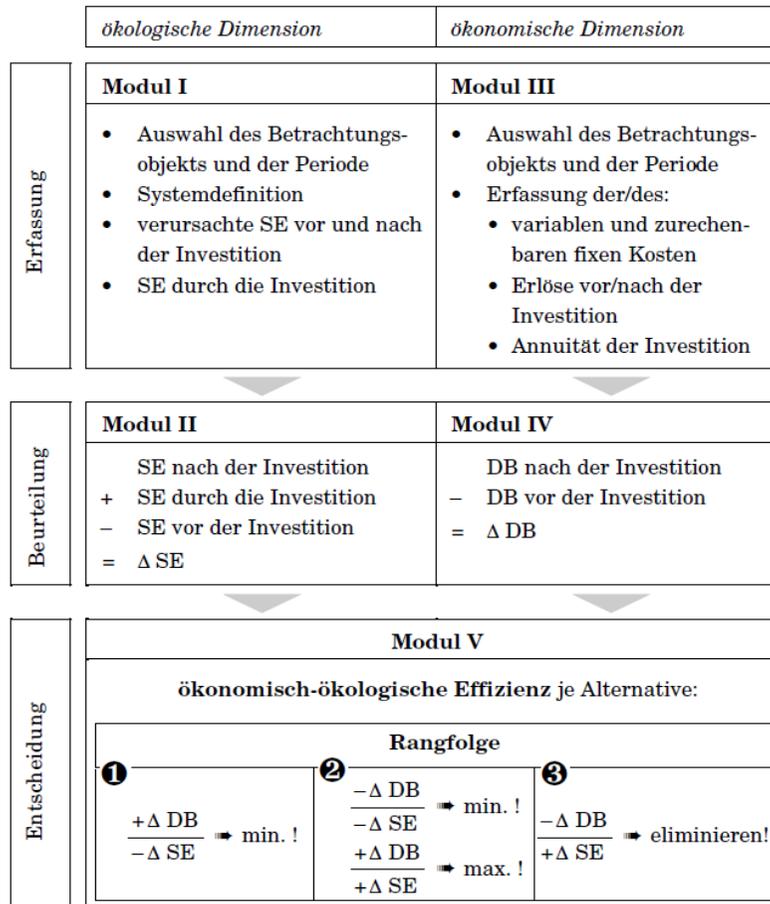
Eco-rational Path-Method

Eine Möglichkeit zur Anwendung des Wirtschaftlichkeitsprinzips bei der Berücksichtigung von monetären und ökologischen Aspekten ist die Eco-rational Path-Method (EPM). Ziel ist eine vergleichende Beurteilung der tatsächlichen wirtschaftlichen und ökologischen Auswirkungen von Maßnahmen und Investitionen. Dazu werden der finanzielle Nutzen und die Umweltbelastung einer Investition ins Verhältnis gesetzt, um entweder eine Minimierung der Schadschöpfung pro Geldeinheit (GE) Gewinn oder eine Maximierung des Gewinnes in Geldeinheiten pro verschmutzte Umwelteinheit (Schadschöpfung) anzustreben. Die Entscheidung welche Zielgröße maximiert wird und welche Investitionen in der Entscheidungsphase tatsächlich ausgewählt werden, wird bewusst dem Management überlassen und nicht von der Methode übernommen. Es wird zwischen einer ökologischen und einer ökonomischen Dimension unterschieden.

Das Vorgehensmodell zur EPM ist analog zur Planungsphase des klassischen Investitionsprozesses und unterteilt sich in: Erfassung, Beurteilung und Entscheidung.

Instrumente der ökologieorientierten Investitionsbewertung

Abbildung 13: Vorgehensmodell der Eco-rational Path-Method



Instrumente der ökologieorientierten Investitionsbewertung



Bestimmung der Umwelleistung/Schadschöpfung

- Zieldefinition
- Festlegung des Untersuchungsgegenstandes
- Festlegung der zeitlichen Dimension
- Systemanalyse und -definition
- Analyse aller mit dem Untersuchungsgegenstand verbundenen Schadschöpfungsstellen
- Festlegung und Beschreibung aller betrachteten und nicht betrachteten Schadschöpfungsstellen
- Erfassung und Aggregation von Stoff- und Energieflüssen
- Inputdaten (Quantität und Qualität)
- stoffliche Ressourcen
- energetische Ressourcen
- Outputdaten (Quantität und Qualität)
- erwünschter Output
- Emissionen (Luft, Wasser, feste Abfälle, energetisch)
- Gewichtung der Emissionen in die Atmosphäre (Luft)
- Hydrosphäre (Wasser)
- Lithosphäre (Boden)
- Zurechnung von Stoff- und Energieflüssen
- Schadschöpfungsstellenrechnungen
- Schadschöpfungsträgerrechnungen
- Schadschöpfungsartenrechnungen

Instrumente der ökologieorientierten Investitionsbewertung



Bestimmung der Öko-Effizienz

Zur Berechnung der ökonomisch-ökologischen Effizienz in Modul V werden der Nettoeffekt der Investition (Differenz aus Schadschöpfung vor und nach der Investition) sowie die Differenz des Deckungsbeitrags (auch wieder vor und nach der Investition) verwendet. Dies setzt eine Analyse des IST-Zustandes voraus. (eignet sich besonders für Ersatzinvestitionen)

Die Schadschöpfung sowie der Deckungsbeitrag der betrachteten Investitionen können auch negativ sein. Zur Beurteilung der Ergebnisse wird deshalb folgende Entscheidungsregel vorgeschlagen:

Instrumente der ökologieorientierten Investitionsbewertung

Abbildung 14: Entscheidungsregel

ΔDB zu ΔSE	Entscheidungsregel	Rangfolge
+ ΔDB / - ΔSE	Bruch minimieren	①
- ΔDB / - ΔSE	Bruch minimieren	②
+ ΔDB / + ΔSE	Bruch maximieren	③
- ΔDB / + ΔSE	Alternative eliminieren	④

Instrumente der ökologieorientierten Investitionsbewertung



Für die strategische Auswahl mehrerer Investitionsalternativen bietet sich zusätzlich die Einordnung in ein Portfolio an, das an die BCG-Matrix der Boston Consulting Group angelehnt ist.

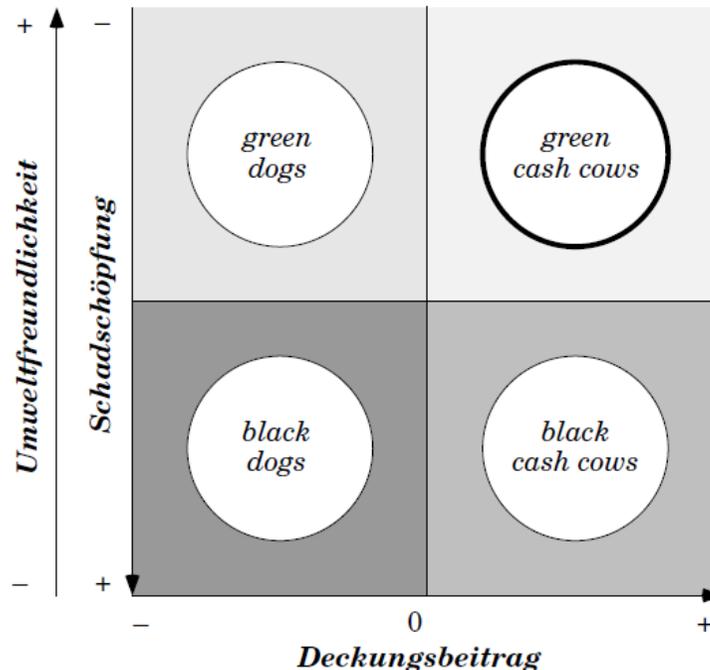


Abbildung 15: EPM-Portfolio für Produkte

Instrumente der ökologieorientierten Investitionsbewertung



Bereich	Charakteristik	Strategie
Green cash cows	tiefe Schadschöpfung und hoher Deckungsbeitrag	Green cash leader: qualitatives Wachstum, finanzieller Erfolg durch umweltgerechtere Produkte und Produktionsverfahren, integrierte Umweltschutztechnologien
Black cash cows	hohe Schadschöpfung und hoher Deckungsbeitrag	Green leader: konfliktär zu finanziellen Zielen und Anspruchsgruppen,
Green dogs	tiefe Schadschöpfung und negativer Deckungsbeitrag „End-of-the-pipe– Umweltschutztechnologien“	Cash leader: keine Integration ökologischer und ökonomischer Ziele
Black dogs	hohe Schadschöpfung und negativer Deckungsbeitrag, verbessern oder eliminieren	Black dog: wird nicht bewusst verfolgt, mögliches Auftreten bei Pionier- und Entwicklungsphasen von Umweltschutztechnologien

Ökologieorientierte Erweiterung traditioneller Planungs- und Investitionskalküle



- Einleitung
- Ökologieorientiertes Controlling
- Ökologieorientiertes Investitionsmanagement
- Anforderungen an quantitative Investitionsbewertungsverfahren
- Instrumente der ökologieorientierten Investitionsbewertung
- **Excel-Anwendung zur ökologieorientierten Investitionsbewertung**

Excel-Anwendung zur ökologieorientierten Investitionsbewertung



Hier wird auf die einzelnen Schritte der Excel-Anwendung eingegangen.

- Welche Daten werden benötigt?
- Wie wird gerechnet und ausgewertet?

Erforderliche Daten sind der Kapitalwert sowie die Umweltleistung der Investition. Die Umweltleistung muss in Belastung zur Herstellung der Maßnahme und Umweltleistung pro Periode getrennt werden (für Amortisationsdauer)

Funktionen:

- Nutzwertanalyse
- Öko-Effizienz
- Öko-Effektivität
- Ökologische Amortisationsdauer

Excel-Anwendung zur ökologieorientierten Investitionsbewertung



Berechnung

$$\text{Ökologische Amortisationsdauer} = \frac{\text{Umweltbelastung durch die Maßnahme}}{\text{Entlastung pro Periode}}$$

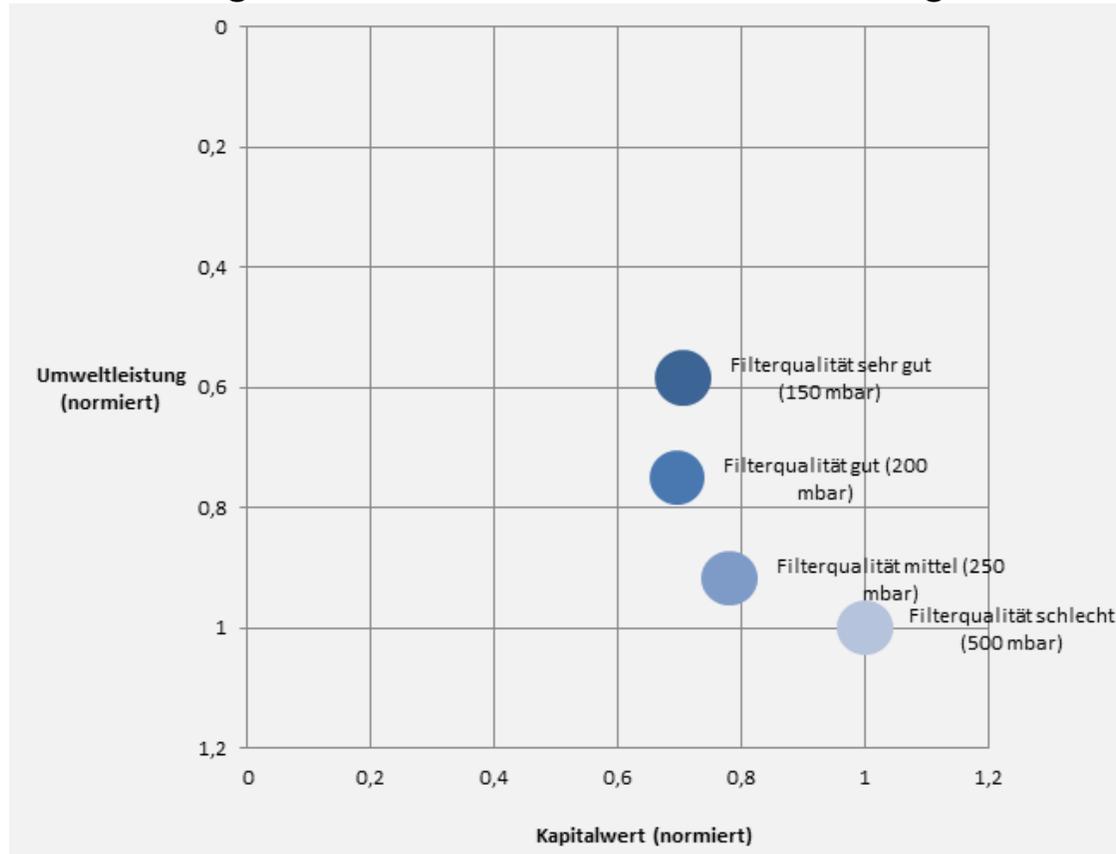
$$\text{Öko-Effizienz} = \frac{\text{Kapitalwert}}{\text{Umweltleistung (aggregiert)}}$$

Excel-Anwendung zur ökologieorientierten Investitionsbewertung



Portfolioanalyse

Kapitalwert und Umwelleistung werden normiert zur Einordnung ins Öko-Portfolio



Excel-Anwendung zur ökologieorientierten Investitionsbewertung



Startbildschirm

The screenshot shows the start screen of the IPRI Excel application. At the top left is the IPRI logo (International Performance Research Institute). At the top right is a "CARBON MANAGEMENT" logo. The main content area is a light gray box containing a list of alternatives and a button. The list shows 4 alternatives with filter quality ratings: "sehr gut (150 mbar)", "gut (200 mbar)", "mittel (250 mbar)", and "schlecht (500 mbar)". A button labeled "Hinzufügen/Bearbeiten" is to the right of the list. Below the list is a paragraph of text describing the application's features.

IPRI INTERNATIONAL PERFORMANCE RESEARCH INSTITUTE

CARBON MANAGEMENT

Anzahl	4
Alternativen	
Filterqualität sehr gut (150 mbar)	
Filterqualität gut (200 mbar)	
Filterqualität mittel (250 mbar)	
Filterqualität schlecht (500 mbar)	

Hinzufügen/Bearbeiten

Dieser Excel-Demonstrator beinhaltet eine um ökologieorientierte Aspekte erweiterte Investitionsbewertung. Die Investitionsbewertung setzt sich aus drei Zielgrößen zusammen: Kapitalwert (ökonomische Zielgröße), Umweltleistung (ökologische Zielgröße) und Nutzwert (qualitative Zielgröße). Es ist möglich bis zu vier Investitionsalternativen auszuwerten und zu vergleichen. Die Tabellenblätter "Investitionsrechnung" und "Nutzwertanalyse" sind für die Dateneingabe konzipiert. Das Tabellenblatt "Auswertung" enthält eine detaillierte Auswertung einer einzelnen Investition. Das Tabellenblatt "Übersicht" liefert einen Vergleich aller Investitionsalternativen sowie ein Portfolio.

Excel-Anwendung zur ökologieorientierten Investitionsbewertung



Startbildschirm: Der Eingangsbildschirm ermöglicht dem Nutzer den Einstieg in die Excel Anwendung zur ökologieorientierten Investitionsbewertung.

Der Excel-Demonstrator beinhaltet eine um ökologieorientierte Aspekte erweiterte Investitionsbewertung.

Die Investitionsbewertung setzt sich aus drei Zielgrößen zusammen: **Kapitalwert** (*ökonomische Zielgröße*), **Umweltleistung** (*ökologische Zielgröße*) und **Nutzwert** (*qualitative Zielgröße*). Es ist möglich bis zu vier Investitionsalternativen auszuwerten und zu vergleichen.

Die Tabellenblätter "Investitionsrechnung" und "Nutzwertanalyse" sind für die Dateneingabe konzipiert. Das Tabellenblatt "Auswertung" enthält eine detaillierte Auswertung einer einzelnen Investition. Das Tabellenblatt "Übersicht" liefert einen Vergleich aller Investitionsalternativen sowie einem Portfolio.

Excel-Anwendung zur ökologieorientierten Investitionsbewertung



Investitionsrechnung - Eingabemaske



	Filterqualität sehr gut (150 mbar)	Filterqualität gut (200 mbar)	Filterqualität mittel (250 mbar)	Filterqualität schlecht (500 mbar)
Filterqualität sehr gut (150 mbar)		Filterqualität gut (200 mbar)	Filterqualität mittel (250 mbar)	Filterqualität schlecht (500 mbar)
Nutzungsdauer	2	2	2	2
Kapitalwert	4.000,00 €	3.000,00 €	2428,099174	3109,917355
normiert	1,00	0,75	0,61	0,78
Umweltleistung				
UL durch Investition	100	100	100	100
UL pro Periode	20	40	60	70
UL gesamt	140	180	220	240
normiert	0,583333333	0,75	0,916666667	1
Öko-Effizienz	28,57	16,67	11,04	12,96
Ökologische Amortisationsdauer				
UL pro Periode (bisher)	80	80	80	80
Entlastung pro Periode	60	40	20	10
Dauer in Perioden	1,67	2,50	5,00	10,00

Excel-Anwendung zur ökologieorientierten Investitionsbewertung



Investitionsrechnung - Eingabemaske

Unter Umweltleistung (UL) werden die zu einer einzelnen Größe aggregierten Umweltbeeinflussung während des gesamten Lebenszyklus verstanden. „UL durch Investition“ bezeichnet alle Umweltbelastungen, die zur Realisierung der Investition notwendig sind (z.B. Herstellung einer Maschine). „UL pro Periode“ bezeichnet alle Umweltbelastungen, die während der Nutzungsdauer Anfallen (inkl. Entsorgungsphase). „Öko-Effizienz“ ist das Verhältnis aus Kapitalwert und Umweltleistung.

Nur auszufüllen, wenn Referenzwerte existieren. Die „Ökologische Amortisationsdauer“ ist die Zeit, die benötigt wird, um die Umweltbelastung durch die Investition zu kompensieren. Also: $UL \text{ durch Investition} / \text{Entlastung pro Periode}$

Filterqualität sehr gut (150 mbar)	
Nutzungsdauer	2
Kapitalwert	4.000,00 €
normiert	1,00
Umweltleistung	
UL durch Investition	100
UL pro Periode	20
UL gesamt	140
normiert	0,583333333
Öko-Effizienz	28,57
Ökologische Amortisationsdauer	
UL pro Periode (bisher)	80
Entlastung pro Periode	60
Dauer in Perioden	1,67

Excel-Anwendung zur ökologieorientierten Investitionsbewertung

CARBON MANAGEMENT

CARBON MANAGEMENT

Nutzwertanalyse



Bewertungsmaßstab Punkteskala: 1 - 10 Gewichtung in Prozent		Filterqualität sehr gut (150 mbar)		Filterqualität gut (200 mbar)		Filterqualität mittel (250 mbar)		Filterqualität schlecht (500 mbar)	
Kriterien	Gewichtung	Punkte	Wert	Punkte	Wert	Punkte	Wert	Punkte	Wert
Preis	50%	2	10	3	15	5	25	6	30
Filterqualität	30%	9	27	8	24	5	15	1	3
Hersteller	20%	9	18	7	14	6	12	1	2
Kriterium 4	0%		0		0		0		0
Kriterium 5	0%		0		0		0		0
Kriterium 6	0%		0		0		0		0
Kriterium 7	0%		0		0		0		0
Kriterium 8	0%		0		0		0		0
Kriterium 9	0%		0		0		0		0
Kriterium 10	0%		0		0		0		0
Gesamt	100%								
Nutzwert		55		53		52		35	
Rang		1		2		3		4	
normiert		1		0,963636364		0,945454545		0,636363636	

Excel-Anwendung zur ökologieorientierten Investitionsbewertung



Es können bis zu 10 Bewertungskriterien benannt werden. Die Kriterien für den Nutzwert werden in Prozent gewichtet. Pro Kriterium können Punkte von 0 (schlechtester Wert) bis 10 (bester Wert) vergeben werden. Die Punktzahl wird mit der Gewichtung und dem Faktor 10 multipliziert. Folglich liegen die resultierenden Nutzwerte zwischen 0 (schlechtester Wert) und 100 (bester Wert).

Bewertungsmaßstab		Filterqualität sehr gut (150 mbar)	
Punkteskala: 1 - 10			
Gewichtung in Prozent			
Kriterien	Gewichtung	Punkte	Wert
Preis	50%	2	10
Filterqualität	30%	9	27
Hersteller	20%	9	18
Kriterium 4	0%		0
Kriterium 5	0%		0
Kriterium 6	0%		0
Kriterium 7	0%		0
Kriterium 8	0%		0
Kriterium 9	0%		0
Kriterium 10	0%		0
Gesamt	100%		
Nutzwert		55	
Rang		1	
normiert		1	

Excel-Anwendung zur ökologieorientierten Investitionsbewertung



Auswertung

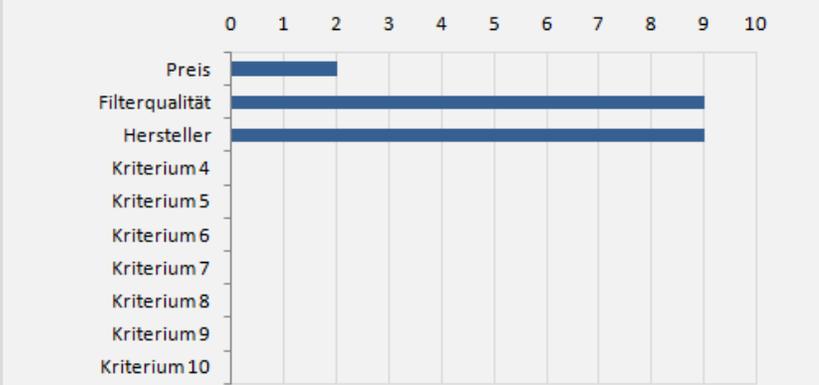


Filterqualität sehr gut (150 mbar) ▾

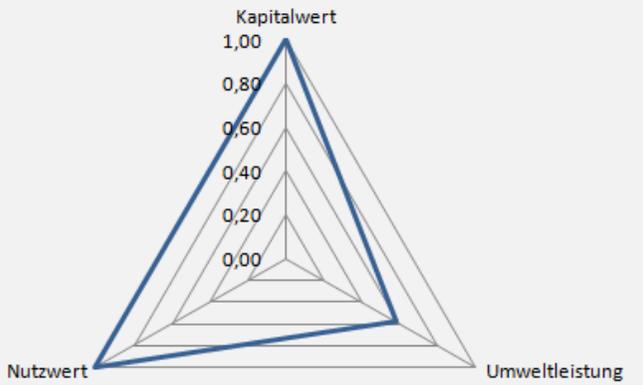
Filterqualität sehr gut (150 mbar)

Kapitalwert	4.000,00 €	
normiert	1,00	
Umweltleistung	140	<i>Umweltleistungseinheiten</i>
normiert	0,58	
Nutzungsdauer	2	<i>Perioden</i>
Öko-Effizienz	28,57	<i>Kapitalwert / Umweltleistung</i>
Ökol. Amortisationsdauer	1,67	<i>Perioden</i>

Nutzwert	55
normiert	1,00



Profil



Auswertung

Die Investition hat einen positiven Kapitalwert und sollte in der Regel durchgeführt werden.

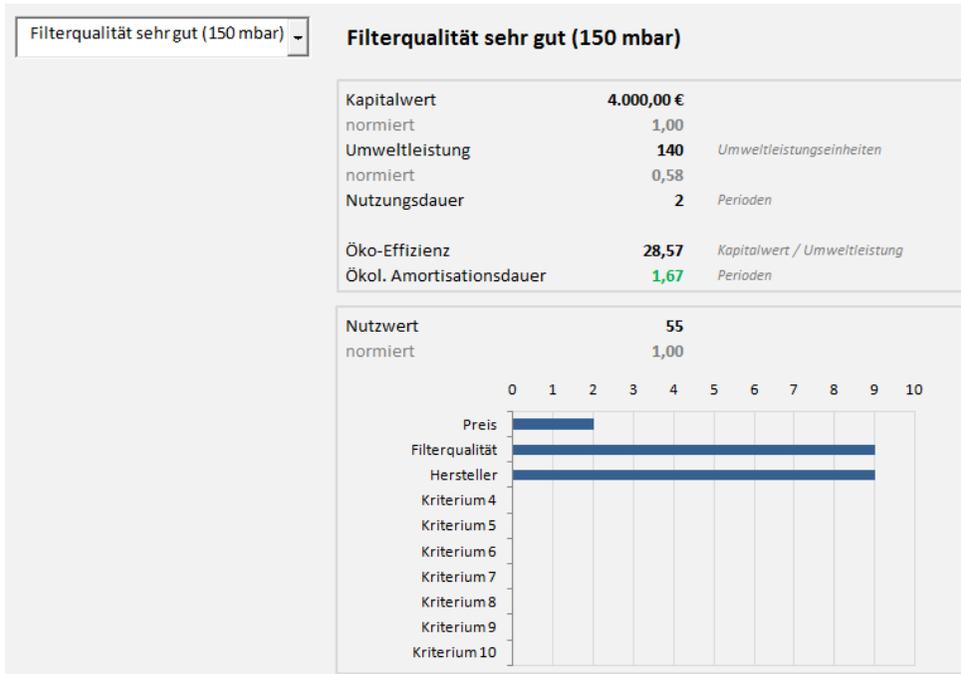
Die ökologische Amortisationsdauer ist kürzer als die Nutzungsdauer. Die Investition trägt also zu einer Umweltentlastung bei.

Der Kapitalwert liegt über dem Durchschnitt.

Die Umweltleistung liegt unter dem Durchschnitt.

Der Nutzwert liegt über dem Durchschnitt.

Excel-Anwendung zur ökologieorientierten Investitionsbewertung

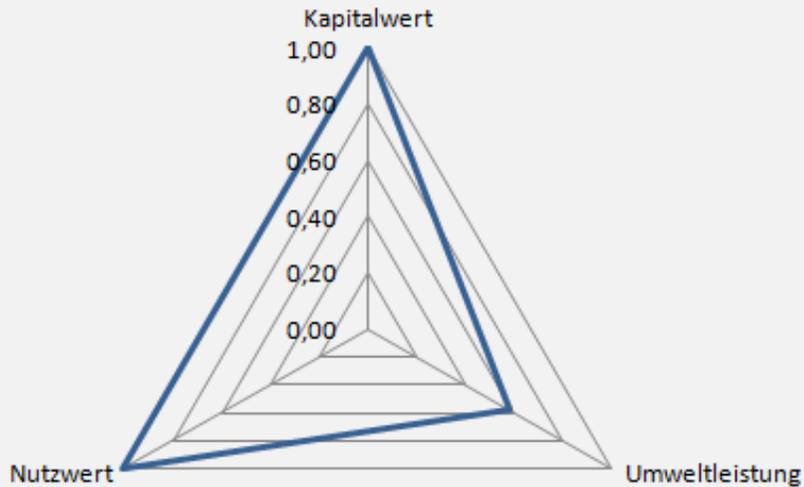


Diese Übersicht vermittelt die Zahlenwerte der jeweiligen Alternative auf einem Blick.

Excel-Anwendung zur ökologieorientierten Investitionsbewertung



Profil



Dieses Profil (Beispiel: Filterqualität sehr hoch) zeigt eine graphische Auswertung der Alternative, zudem findet eine textbasierte Auswertung statt.

Auswertung

Die Investition hat einen positiven Kapitalwert und sollte in der Regel durchgeführt werden.

Die ökologische Amortisationsdauer ist kürzer als die Nutzungsdauer. Die Investition trägt also zu einer Umweltentlastung bei.

Der Kapitalwert liegt über dem Durchschnitt.

Die Umwelleistung liegt unter dem Durchschnitt.

Der Nutzwert liegt über dem Durchschnitt.

Excel-Anwendung zur ökologieorientierten Investitionsbewertung



Ergebnisübersicht – Portfolioanalyse:

Kapitalwert und Umwelleistung werden normiert zur Einordnung ins Öko-Portfolio

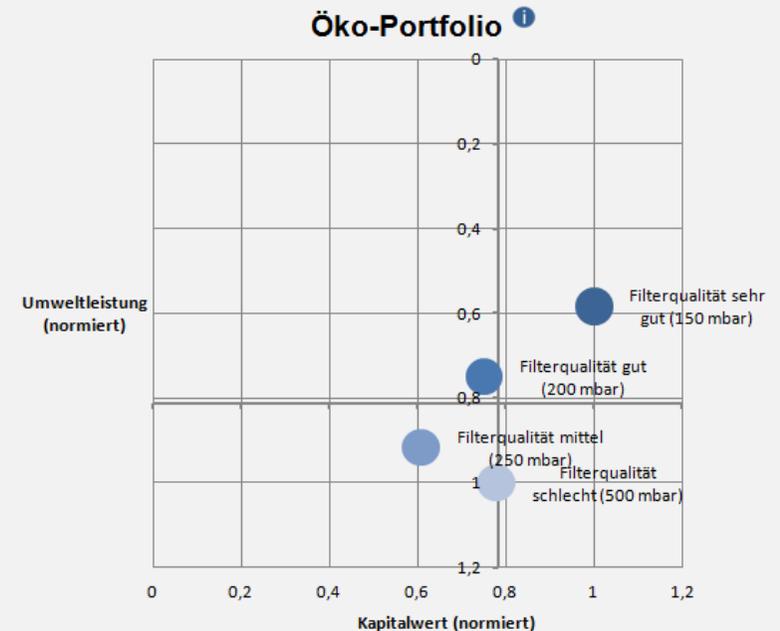
Übersicht



	Filterqualität sehr gut (150 mbar)	Filterqualität gut (200 mbar)	Filterqualität mittel (250 mbar)	Filterqualität schlecht (500 mbar)
Kapitalwert	4.000,00 €	3.000,00 €	2.428,10 €	3.109,92 €
Umwelleistung	140,00	180,00	220,00	240,00
Ökol. Amortisationsdauer	1,67	2,50	5,00	10,00
Öko-Effizienz	28,57	16,67	11,04	12,96
Nutzwert	55	53	52	35

Mittelwerte
 Kapitalwert $\bar{\phi}$ 3.134,50 €
 Umwelleistung $\bar{\phi}$ 195,00
 Nutzwert $\bar{\phi}$ 48,75

Mittelwerte (normiert)
 Kapitalwert $\bar{\phi}$ 0,78
 Umwelleistung $\bar{\phi}$ 0,81
 Nutzwert $\bar{\phi}$ 0,89





Excel-Anwendung zur ökologieorientierten Investitionsbewertung

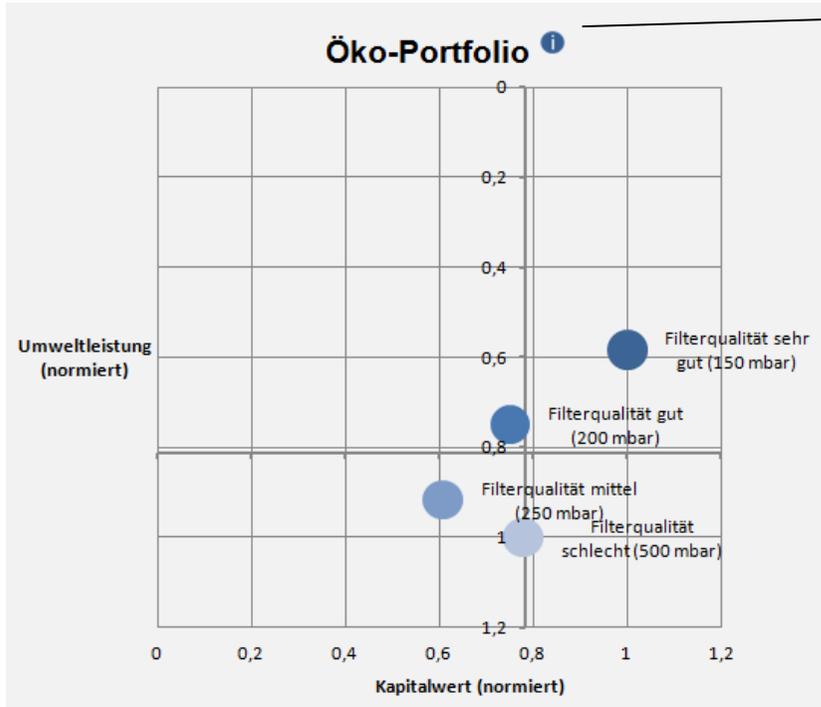
	Filterqualität sehr gut (150 mbar)	Filterqualität gut (200 mbar)	Filterqualität mittel (250 mbar)	Filterqualität schlecht (500 mbar)
Kapitalwert	4.000,00 €	3.000,00 €	2.428,10 €	3.109,92 €
Umweltleistung	140,00	180,00	220,00	240,00
Ökol. Amortisationsdauer	1,67	2,50	5,00	10,00
Öko-Effizienz	28,57	16,67	11,04	12,96
Nutzwert	55	53	52	35
Mittelwerte				
Kapitalwert $\bar{\phi}$	3.134,50 €			
Umweltleistung $\bar{\phi}$	195,00			
Nutzwert $\bar{\phi}$	48,75			
Mittelwerte (normiert)				
Kapitalwert $\bar{\phi}$	0,78			
Umweltleistung $\bar{\phi}$	0,81			
Nutzwert $\bar{\phi}$	0,89			

Diese Übersicht ermöglicht eine visuelle Einschätzung der jeweiligen Alternativen. Hier gilt: je grüner desto besser, je gelber bzw. roter desto schlechter ist die jeweilige Alternative.

Für den späteren Vergleich sind die Werte normiert. Dies ändert jedoch nichts an dem Aussagegehalt.



Excel-Anwendung zur ökologieorientierten Investitionsbewertung



Das Öko-Portfolio stellt die Kapitalwerte der Investition in Relation zur entsprechenden Umwelleistung dar. Die horizontale und vertikale Achse entsprechen den Mittelwerten von Kapitalwert und Umwelleistung. Dadurch entstehen 4 Quadranten, die in Anlehnung an Schaltegger/Sturm (2010) folgendermaßen definiert werden:

Niedriger Kapitalwert und niedrige Umwelleistung:
möglicherweise konfliktär zu Zielen der Anspruchsgruppen

Niedriger Kapitalwert und hohe Umwelleistung:
unvorteilhafte Investition

Hoher Kapitalwert und niedrige Umwelleistung:
vorteilhafte Investition, qualitatives Wachstum

Hoher Kapitalwert und hohe Umwelleistung:
möglicherweise konfliktär zu Zielen der Anspruchsgruppen



Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Betreut von:



Carbon Management

Erweiterbarer Katalog mit bewerteten Maßnahmen zur Emissionssenkung

Erweiterbarer Katalog mit bewerteten Maßnahmen zur Emissionssenkung



Maßnahmen	
Wärmetauscher	Revision des Kompressors
Leckagen am Kompressor	Alternativen zur Druckluft
Leckagen im Leitungsnetz	Umgang (ökologisch und ökonomisch)
Leckagen an den Verbrauchsstellen	Umgang mit Druckluft
Druckniveau	Automatisierung Druckluftsteuerung
Brauchwassererwärmung	Wartung der gesamten Anlage
Leerlauf und Abschaltung	Umgebungsbedingungen
Wahl des richtigen Kompressors	Anwender schulen
Neuanlage	Druckluftaufbereitung
Druckluftüberwachung	

Maßnahme	[Name der Maßnahme]				1	
Handlungsfeld		Kompressor		Verbraucher		extern
		Leitung		Personal		allgemein
Priorität		mittel		hoch		sehr hoch
Umsetzung		sofort		kurzfristig		langfristig
Beschreibung und Handlungsschritte						
[Welches Problem herrscht vor und wie kann es behoben werden?]						
Umsetzung						
[Welche Maßnahmen sind zu treffen?]						
Erwartete Kosten						
[Wie hoch sind die durchschnittlichen Kosten für die Maßnahme, soweit dies möglich ist?]						
Erwarteter Nutzen & Einsparungen						
[Wie machen sich die Maßnahmen bemerkbar finanziell aber auch andere Faktoren]						
CO2	[Wie viel CO2 kann durch eine durchschnittliche Maßnahme eingespart werden?]					
[Welche Annahmen wurden für die Berechnungen getroffen?]						

Maßnahme	Berechnungsgrundlage					1
Handlungsfeld	X	Kompressor		Verbraucher		extern
		Leitung		Personal	X	allgemein
Priorität		mittel		hoch		sehr hoch
Umsetzung		sofort		kurzfristig		langfristig

Verwendet Kompressor (Annahme: linearer Verlauf)

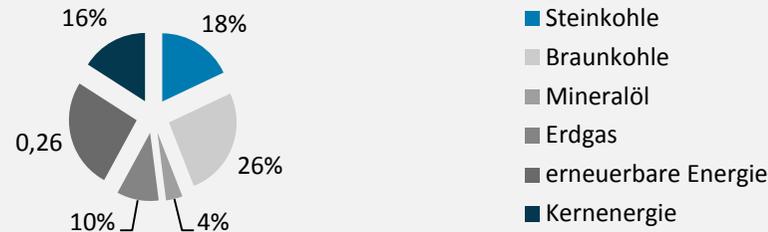
Kompressor: 270 l/s; 90kW; 7,5 bar Betriebsdruck
 Druckluftspeicher: 1000l plus Leitungsnetz: 350 l

Strommix

Durchschnittlicher Energiemix:

Strompreis: 0,15 €

Stromkosten: (Strompreis * kW/Jahr)



Auslastung

100 %
 40 h/Woche
 52 Wochen

270 l/s = 0,0250 kW/s
 16.200 l/min = 1,50 kW/min
 972.000 l/h = 90,00 kW/h
 2.021.760 .000 l/Jahr = 2.021.760 m³/Jahr

CO2

106,58 t CO2

***Unternehmen mit 90 kW Kompressor, 100% Auslastung, Strommix (26% erneuerbare Energie, 74% konventionelle Energie**

Maßnahme	Berechnungsgrundlage				1	
Handlungsfeld	X	Kompressor		Verbraucher		extern
		Leitung		Personal	X	allgemein
Priorität		mittel		hoch		sehr hoch
Umsetzung		sofort		kurzfristig		langfristig
CO2-Energie						
Energieart	spez. CO2-Emissionen inkl. Vorkette [g/kWhnetto]			Anteil Energiemix [%]		
Steinkohle	931			18%		
Braunkohle	1175			26%		
Mineralöl	859			4%		
Erdgas	518			10%		
erneuerbare Energie	32			26%		
Kernenergie	11			16%		
Ø CO2-Emissionen inkl. Vorkette	569,32					
Schadstoffzeugung						
187.200 kW/Jahr = kW/h * Auslastung * h/Woche * Arbeitswochen						
106,58 t CO2 = =kW/Jahr * Ø CO2-Emissionen inkl. Vorkette) / 1.000.000						
CO2						106,58 t CO2

Maßnahme	Wärmetauscher				1	
Handlungsfeld	X	Kompressor		Verbraucher	X	extern
		Leitung		Personal		allgemein
Priorität		mittel		hoch	X	sehr hoch
Umsetzung	X	sofort		kurzfristig	X	langfristig

Beschreibung und Handlungsschritte

90% der elektrischen Energie geht in Wärme verloren, deshalb ist die Installation eines Wärmetauschers sinnvoll. Abwärme wird durch einen Wärmetauscher dem Heizungssystem zugeführt. Der Aufwand richtet sich nach den örtlichen Gegebenheiten. Bei der Umsetzung stehen zuerst hohe Anfangsinvestition an, jedoch sinken mit dieser Maßnahme die Heizkosten.

Umsetzung

Bisherige Heizlösung im Normalfall konventionell mit Heizöl wird durch einen Wärmetauscher ergänzt

Erwartete Kosten

Installationskosten Wärmetauscher 12.000€ plus Zusatzmaßnahmen

Erwarteter Nutzen & Einsparungen

Erwartete Einsparungen pro Jahr: 10.704,87 €
Amortisation setzt nach ca. 1,12 Jahren ein

$$\frac{\text{nutzbare Energie (kW)} * \text{Stunden (h)} * \text{Heizölpreis (€)}}{\text{Heizwert Öl (kWh/l)} * \text{Heizungswirkungsgrad}}$$

CO2

111,94 t CO2

***Unternehmen mit 90 kW Kompressor, 100% Auslastung, Strommix (26% erneuerbare Energie, 74% konventionelle Energie**

Maßnahme	Leckagen am Kompressor					2
Handlungsfeld	X	Kompressor		Verbraucher		extern
		Leitung		Personal		allgemein
Priorität		mittel	X	hoch		sehr hoch
Umsetzung		sofort	X	kurzfristig	X	langfristig
Beschreibung und Handlungsschritte						
Innere Leckagen im Kompressor sind oftmals bedingt durch falsche Montage, oder Alterungserscheinungen. Leckagen müssen ständig in regelmäßigen Abständen gesucht und kontrolliert werden. Möglichkeiten zur Identifikation sind akustische Prüfungen, Ortung mittels Leckage-Ortungssprays (Alternative: Seifenlauge), eine andere Methode stellen Ultraschallmessgeräte da. Die gefundenen Stellen müssen nachgebessert werden, dies geschieht durch einfaches Nachziehen der Verbindungsteile oder aber auch durch den Austausch der fehlerhaften Bauteile						
Umsetzung						
Luftverlustgeräusche können wahrgenommen werden, Verbindungsstellen müssen untersucht werden						
Erwartete Kosten						
Instandhaltung muss sich im Vergleich zur Neuanschaffung rentieren Annahme: 10% der Druckluft entweicht direkt am Kompressor = 17.220kW = 2808 €						
Erwarteter Nutzen & Einsparungen						
Leckagen sind die teuersten Verbraucher, durch die Beseitigung werden 2808€ pro Jahr eingespart						
CO2						10,81 t CO2

***Unternehmen mit 90 kW Kompressor, 100% Auslastung, Strommix (26% erneuerbare Energie, 74% konventionelle Energie**

Maßnahme	Leckagen im Leitungsnetz					3
Handlungsfeld		Kompressor		Verbraucher		extern
	X	Leitung		Personal		allgemein
Priorität		mittel		hoch	X	sehr hoch
Umsetzung	X	sofort		kurzfristig	X	langfristig
Beschreibung und Handlungsschritte						
Leckagen sind Verbraucher, die 24/7 beschäftigt sind. Dieses Problem betrifft in der Regel das gesamte Rohrleitungsnetz. Die aufgespürten Leckagen müssen schleunigst beseitigt werden (Rangfolge erstellen)						
Umsetzung						
Luftgeräusche wahrnehmen, die Verbindungsstellen mittels Seifenlauge, Leckage-Ortungsspray oder Ultraschallmessgeräte aufdecken. Ansonsten besteht mittels der Behältermethode die Möglichkeit den Leckageverlust zu bestimmen. Man misst die Zeit, bis der Druckluftbehälter bei abgeschalteten Kompressor benötigt um auf ein gewisses Niveau zu gelangen.						
Erwartete Kosten						
Installationskosten bei vielen Leckagen: Annahme 5.000 €						
Erwarteter Nutzen & Einsparungen						
Erwartete Einsparungen pro Jahr: 1733,33 €						
CO2						6,58 t CO2

***Unternehmen mit 90 kW Kompressor, 100% Auslastung, Strommix (26% erneuerbare Energie, 74% konventionelle Energie**

Maßnahme	Leckagen im Leitungsnetz				Zusatz 3	
Handlungsfeld		Kompressor		Verbraucher		extern
	X	Leitung		Personal		allgemein
Priorität		mittel		hoch	X	sehr hoch
Umsetzung	X	sofort		kurzfristig	X	langfristig

Zusatzinformationen

$$VL = VB * \frac{(pA - pE)}{t}$$

VL = Leckageverlust

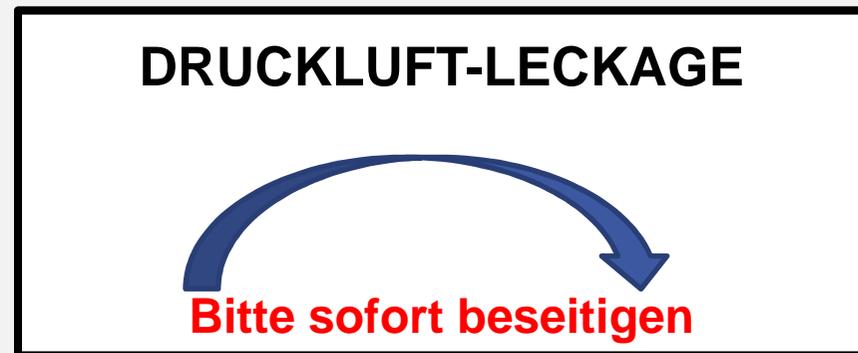
VB = Druckbehälterinhalt

pA = Behälteranfangsdruck in bar

pE = Behälterenddruck in bar

t = Messzeit in min

Typische Leckagestellen: Schraub- und Flanschverbindungen, korrodierte Leitungen, fehlerhafte Installationen
 Druckluftschläuche müssen regelmäßig kontrolliert werden (auch Überlängen vermeiden und nie den Querschnitt verändern)



***Unternehmen mit 90 kW Kompressor, 100% Auslastung, Strommix (26% erneuerbare Energie, 74% konventionelle Energie)**

Maßnahme	Leckagen im Leitungsnetz				Zusatz 3	
Handlungsfeld		Kompressor		Verbraucher		extern
	X	Leitung		Personal		allgemein
Priorität		mittel		hoch	X	sehr hoch
Umsetzung	X	sofort		kurzfristig	X	langfristig

Zusatzinformationen

Was kosten Leckagen? [Praxisbeispiel: Feldmann, 2003, Optimale Druckluftverteilung: So spart man Energie und Kosten in Druckluftleitungsnetzen, 2. Auflage, Remmingen, expert-Verlag]

Lochdurchmesser (mm)	Luftverlust 6 bar (l/s)	Energieverlust (kW)	Euro	CO2 (t)
1	1,24	0,3	93,60 €	0,36
3	11,14	3,1	967,20 €	3,67
5	30,95	8,3	2.589,60 €	9,83
10	123,80	33,0	10.296,00 €	39,08

***Unternehmen mit 90 kW Kompressor, 100% Auslastung, Strommix (26% erneuerbare Energie, 74% konventionelle Energie**

Maßnahme	Leckagen an den Verbrauchsstellen					4
Handlungsfeld	Kompressor	X	Verbraucher		extern	
	Leitung	X	Personal		allgemein	
Priorität	mittel	X	hoch	X	sehr hoch	
Umsetzung	sofort	X	kurzfristig	X	langfristig	
Beschreibung und Handlungsschritte						
<p>Lecks müssen identifiziert werden und defekte Stellen reparieren. Es empfiehlt sich eine Reihung nach Dringlichkeit (große Leckagen zuerst) Leckagen an den Verbrauchsstellen (z.B. Blaspistolen) liegen im Bereich des Mitarbeiters.</p>						
Umsetzung						
Die Anschlüsse und Schläuche mittels Seifenlauge/Leckortungsspray auf Blasenbildung untersuchen. Oftmals müssen poröse Schläuche, undichte Kupplungen und Werkzeuge ausgetauscht werden						
Erwartete Kosten						
5 defekte Schläuche (Leckage á 1mm) und 2 defekte Werkzeuge (Leckage á 3mm) entspricht einem Verlust von 19.739 kW/Jahr ; Austausch der fehlerhaften Teile beträgt ca. 6000€						
Erwarteter Nutzen & Einsparungen						
Erwartete Einsparungen pro Jahr: 2.960,88 € Amortisation setzt nach ca.2,03 Jahren ein						
CO2						11,24 t CO2

***Unternehmen mit 90 kW Kompressor, 100% Auslastung, Strommix (26% erneuerbare Energie, 74% konventionelle Energie**

Maßnahme	Druckniveau					5
Handlungsfeld	X	Kompressor		Verbraucher		extern
	X	Leitung		Personal	X	allgemein
Priorität		mittel	X	hoch		sehr hoch
Umsetzung	X	sofort		kurzfristig		langfristig
Beschreibung und Handlungsschritte						
<p>Druckluft die zu hoch verdichtete wird verbraucht unnötig Energie Um das Druckniveau bestimmen zu können, muss der Druckluftbedarf und die Druckhöhe der Werkzeuge ermittelt werden. Werden in der Anwendung mehrere Drücke benötigt, so empfiehlt sich die Anschaffung mehrerer Druckluftkompressoren.</p>						
Umsetzung						
Druck am Kompressor richtig einstellen [Nenndruck: einstellen auf Druckluftbedarf + Leckagekompensation + Druckverlust Filtereinheit]] weitere Möglichkeiten, Luftschläuche und Rohrleitungen auf Innendurchmesser untersuchen und ggf. erhöhen. Senkung des Nenndrucks von 10 auf 7 bar						
Erwartete Kosten						
keine						
Erwarteter Nutzen & Einsparungen						
Energieersparnis: 6.211,64 € Laufleistung des Kompressors wird merklich erhöht, zudem steigt die Arbeitssicherheit						
CO2						23,58 t CO2

***Unternehmen mit 90 kW Kompressor, 100% Auslastung, Strommix (26% erneuerbare Energie, 74% konventionelle Energie**

Maßnahme	Druckniveau				Zusatz 5	
Handlungsfeld	X	Kompressor		Verbraucher		extern
	X	Leitung		Personal	X	allgemein
Priorität		mittel	X	hoch		sehr hoch
Umsetzung	X	sofort		kurzfristig		langfristig

Beschreibung und Handlungsschritte

Ermittlung des effektiven Luftdruckbedarfs

Verbraucher	l/min	Auslastung [%]	Anzahl	effektiver Bedarf
Ausblaspistole	400	2	9	72,00
Hebebühne	500	4	2	40,00
Schlagschrauber	350	3	5	52,50
Luftvorhang	1557	80	1	1245,60

Σ 1410,10

Bedarfsgesteuertes Druckniveau:

passt das Druckniveau an den Verbrauch an, hilfreich bei sehr schwankendem Bedarf

Ermittlung des effektiven Luftdruckbedarfs

$$\text{Behältergröße [m}^3\text{]} = \frac{\text{Kompressorförderleistung pro min}}{3}$$

***Unternehmen mit 90 kW Kompressor, 100% Auslastung, Strommix (26% erneuerbare Energie, 74% konventionelle Energie)**

Maßnahme	Brauchwassererwärmung					6
Handlungsfeld	X	Kompressor		Verbraucher		extern
		Leitung		Personal	X	allgemein
Priorität		mittel		hoch	X	sehr hoch
Umsetzung	X	sofort		kurzfristig	X	langfristig
Beschreibung und Handlungsschritte						
Durch die Nutzung der Abwärme des Kompressors wird eine Kostensenkung der Kostenstelle "Heizung" erzeugt. Ein Plattenwärmetauscher (Öl, Wasser getrennt) ermöglicht die Brauchwassererwärmung (auf ca. 55°C)						
Umsetzung						
Installation Rohrleitungen, Wärmetauscher - Verbindung Brauchwassernetz						
Erwartete Kosten						
Installationskosten Wärmetauscher 13.000€ plus Zusatzmaßnahmen (Maßnahmen, Entfernung, Dimension) 4.000 €						
Erwarteter Nutzen & Einsparungen						
14.429,21 € $\frac{\text{max. Wärmeleistung in kW} \cdot \text{Betriebsstunden}}{\text{Wirkungsgrad Heizöl(Heizung)} \cdot \text{Heizwert in kWh/l}} \cdot \text{Heizölpreis in €/l}$						
CO2						150,88 t CO2

***Unternehmen mit 90 kW Kompressor, 100% Auslastung, Strommix (26% erneuerbare Energie, 74% konventionelle Energie**

Maßnahme	Leerlauf und Abschaltung					7
Handlungsfeld	X	Kompressor	X	Verbraucher		extern
		Leitung	X	Personal		allgemein
Priorität		mittel	X	hoch		sehr hoch
Umsetzung	X	sofort		kurzfristig		langfristig

Beschreibung und Handlungsschritte

Ziel während des laufenden Betriebs die Leerlaufzeiten minimieren. Dies geschieht mittels einer intelligenten Anlagensteuerung. Falls Druckluft längerfristig nicht benötigt wird, kann einfach durch ausschalten der Anlage Energie gespart werden.

Umsetzung

Optimierung der Schaltzeiten: Leerlauf benötigt ca. 1/3 der Nennleistung, jedoch ohne Druckluft bereitzustellen (Bestimmung über Leer- und Vollaststundenzähler). Hierfür sind Zeitschaltuhren zur Steuerung der Stillstandszeiten einzusetzen.

Erwartete Kosten

Installationskosten 2.000€ plus Zusatzmaßnahmen

Erwarteter Nutzen & Einsparungen

Reduktion der Betriebszeit (von 3000h auf 2080h pro Jahr) = 2.005,71 €

CO2	7,61 t CO2
------------	------------

***Unternehmen mit 90 kW Kompressor, 100% Auslastung, Strommix (26% erneuerbare Energie, 74% konventionelle Energie**

Maßnahme	Wahl des richtigen Kompressors					8
Handlungsfeld	X	Kompressor		Verbraucher	X	extern
		Leitung		Personal	X	allgemein
Priorität		mittel	X	hoch		sehr hoch
Umsetzung		sofort		kurzfristig		langfristig
Beschreibung und Handlungsschritte						
<p>Handlungsbedarf bei einer Neuinstallation des Kompressors verschiedene Kompressortypen zur Auswahl: Kolben-, Schrauben- und Turbokompressoren Dauerlast und/oder 1m³/min ==> Schraubenkompressor ölfrei ==> Turbokompressoren Die Wahl muss durch einen Experten auf die Gegebenheiten und auf eine optimale Auslastung der neuen Druckluftanlage (plus Erweiterungsmöglichkeit) geplant werden</p>						
Umsetzung						
Expertenberatung einholen						
Erwartete Kosten						
Neuer Kompressor mit 90kW, 280 l/s kostet: 56.303€						
Erwarteter Nutzen & Einsparungen						
Erwartete Einsparungen (Annahme: 25% effektiver als der alte Kompressor) pro Jahr: 7020 € Amortisation setzt nach ca. 1,12 Jahren ein						
CO2						26,64 t CO2

***Unternehmen mit 90 kW Kompressor, 100% Auslastung, Strommix (26% erneuerbare Energie, 74% konventionelle Energie**

Maßnahme	Neuanlage				9	
Handlungsfeld	X	Kompressor		Verbraucher	X	extern
		Leitung		Personal	X	allgemein
Priorität	X	mittel		hoch		sehr hoch
Umsetzung		sofort		kurzfristig	X	langfristig
Beschreibung und Handlungsschritte						
<p>Kompressortyp nach Einsatzzweck bestimmen Dauerlastbetrieb und/oder hoher Druckbedarf => Schraubenkompressor Effektivere Neuanlage kann bis zu ca. 23% Ersparnis pro Jahr im Vergleich zur alten Anlage bedeuten</p>						
Umsetzung						
<p>Komplette Neuanlage einer Druckluftanlage ist nur lohnenswert bei grundlegenden Veränderungen, ansonsten ist u.U. auch ein Druckluft Contracting (externer Zukauf der Leistung Druckluft. Bezahlt wird hier der Verbrauch (€/m³))</p>						
Erwartete Kosten						
Neue große Anlage: 110.302,52 €						
Erwarteter Nutzen & Einsparungen						
Erwartete Einsparungen pro Jahr: 6.458,40 €						
CO2						24,51 t CO2

***Unternehmen mit 90 kW Kompressor, 100% Auslastung, Strommix (26% erneuerbare Energie, 74% konventionelle Energie)**

Maßnahme	Druckluftüberwachung					10
Handlungsfeld	X	Kompressor	X	Verbraucher	X	extern
	X	Leitung	X	Personal		allgemein
Priorität	X	mittel		hoch		sehr hoch
Umsetzung		sofort		kurzfristig	X	langfristig
Beschreibung und Handlungsschritte						
Überwachung des Druckluftverbrauchs, digitale Durchflussmesser dienen der gesamten Produktionsüberwachung. Realer Verbrauch wird aufgedeckt, dies ist nötig da Herstellerangaben keine 100% Aufschluss liefern, bedingt durch Leckagen, Verschleiß, unsachgemäße Installation, ... Schallpegelmessgeräte, können dazu genutzt werden die Arbeitssicherheit zu erhöhen, unsachgemäße Druckluftanlagen bzw. Vorrichtungen erzeugen Druckluftgeräusche. Dient als Berechnungsgrundlage für viele weitere Maßnahmen (z.B. Leckagen, ...)						
Umsetzung						
Installation von Messgeräten						
Erwartete Kosten						
Installationskosten Messtechnik: 8.000€ plus Zusatzmaßnahmen						
Erwarteter Nutzen & Einsparungen						
Genauere Erfassung des Druckluftverbrauchs (zusätzlich Rückschluss auf Leckagen) Arbeitsschutz wird erhöht						
CO2						111,94 t CO2

***Unternehmen mit 90 kW Kompressor, 100% Auslastung, Strommix (26% erneuerbare Energie, 74% konventionelle Energie)**

Maßnahme	Revision des Kompressor					11
Handlungsfeld		Kompressor		Verbraucher		extern
		Leitung		Personal		allgemein
Priorität		mittel		hoch		sehr hoch
Umsetzung		sofort		kurzfristig		langfristig
Beschreibung und Handlungsschritte						
Überprüfung der Luftfördermenge (l/s) in regelmäßigen Abständen, je älter ein Kompressor wird, desto größer ist der Verschleiß. Es wird gemessen, bei zugesperrten Leitungsnetz, wie lang der Kompressor benötigt, 1 bar Druck-erhöhung im Druckspeicher zu erhöhen. Weichen die Messwerte mehr als 15% vom Herstellerwert ab, so ist eine Revision bzw. ein Austausch empfehlenswert. Senkung der Energiekosten, da ein schlecht arbeitender Kompressor einen höheren Energiebedarf für die gleiche Leistung besitzt. Druckqualität in der gesamten Anlage wird sichergestellt						
Umsetzung						
Messung und Protokoll führen, durch Beauftragten						
Erwartete Kosten						
Messung kostet nur Arbeitszeit; im Fall einer Revision (Reparaturkosten), ansonsten Austausch des Kompressors 10% Leistungseinbuße entsprechen Energiekosten in Höhe von 2807,53 €						
Erwarteter Nutzen & Einsparungen						
Kosten nach Aufwand Es wird der Normalverbrauch wieder hergestellt						
CO2						10,66 t CO2

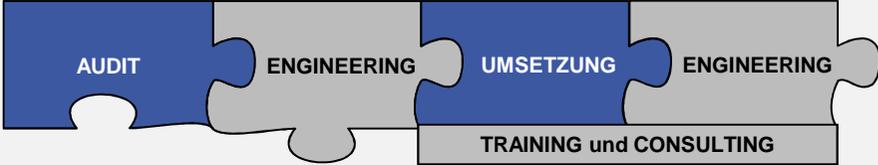
***Unternehmen mit 90 kW Kompressor, 100% Auslastung, Strommix (26% erneuerbare Energie, 74% konventionelle Energie**

Maßnahme	Revision des Kompressor				Zusatz 11	
Handlungsfeld		Kompressor		Verbraucher		extern
		Leitung		Personal		allgemein
Priorität		mittel		hoch		sehr hoch
Umsetzung		sofort		kurzfristig		langfristig
Sonstiges:						
<p>Kompressoren haben bewegliche Teile, welche verschleifen. Vor allem bei Anlagen mit mehreren Kompressoren kann es vorkommen, dass ein Kompressor unbemerkt gar keine Luft mehr liefert, obwohl er läuft. Eine einfache Methode die Kompressorleistung zu überprüfen besteht in der Messung der Luftfördermenge. Dabei wird die Zeit gemessen, die der Kompressor braucht den Druck im Speicher um zum Beispiel 1 bar zu erhöhen. Das übrige Druckluftnetz sollte dabei abgesperrt sein und die Druckmessung im Bereich des Nenndruckes liegen. Aus der untenstehenden Formel kann die Luftfördermenge errechnet werden. Dieser regelmäßig ermittelte Wert sollte mit der Kompressor-Spezifikation oder den letzten Messwerten verglichen werden. Bei einer Leistungseinbuße von mehr als 15% sollte der Kompressor revidiert werden.</p>						

***Unternehmen mit 90 kW Kompressor, 100% Auslastung, Strommix (26% erneuerbare Energie, 74% konventionelle Energie**

Maßnahme	Alternativen zur Druckluft				12	
Handlungsfeld		Kompressor	X	Verbraucher		extern
		Leitung	X	Personal	X	allgemein
Priorität		mittel	X	hoch	X	sehr hoch
Umsetzung		sofort	X	kurzfristig	X	langfristig
Beschreibung und Handlungsschritte						
elektrische Werkzeuge haben einen höheren Wirkungsgrad als Pneumatik-Antriebe (1kW benötigt 5-10 fache an Kompressorleistung)						
Umsetzung						
Austausch ist NICHT nur eine Kostenfrage: Arbeitssicherheit und Qualität darf nicht vernachlässigt werden, Rückbau bzw. teilweise stilllegen der Druckluftanlage, durch elektrische Geräte ersetzen						
Erwartete Kosten						
Umstieg: 2 Pneumatik-Antriebe (1 kW) werden durch 2 Elektro-Antriebe (1,5 kW) [20% Auslastung] Pneumatik = 4.000€ Elektro= 8.000€						
Erwarteter Nutzen & Einsparungen						
Verzicht auf Druckluft spart jährlich 436,80 € U.U. wird auch die Anschaffung eines leistungsstärkeren Kompressors vermieden						
CO2						1,66t CO2

***Unternehmen mit 90 kW Kompressor, 100% Auslastung, Strommix (26% erneuerbare Energie, 74% konventionelle Energie**

Maßnahme	Umgang (ökologisch & ökonomisch)					13
Handlungsfeld		Kompressor		Verbraucher		extern
		Leitung	X	Personal		allgemein
Priorität		mittel	X	hoch		sehr hoch
Umsetzung		sofort	X	kurzfristig	X	langfristig
Beschreibung und Handlungsschritte						
<p>Einen Druckluft-Verantwortlicher bestimmen, dieser hat die Überwachung und Kontrolle der Druckluftanlage vorzunehmen (individuelle Maßnahmenkatalog aufstellen). Dieser muss regelmäßig berichten und dokumentieren (Erfolge, Missstände).</p> 						
Umsetzung						
<p>Maßnahmenkatalog mit Zielvorgaben und Wartungsplan aufstellen Regelmäßige Kontrollen der gesamten Anlage, Druckluftaudit einführen</p>						
Erwartete Kosten						
Je nach Umfang						
Erwarteter Nutzen & Einsparungen						
<p>Energieeinsparung Bessere CO₂-Ökobilanz</p>						
CO₂						111,94 t CO ₂

***Unternehmen mit 90 kW Kompressor, 100% Auslastung, Strommix (26% erneuerbare Energie, 74% konventionelle Energie**

Maßnahme	Umgang mit Druckluft					14
Handlungsfeld	X	Kompressor	X	Verbraucher	X	extern
	X	Leitung	X	Personal	X	allgemein
Priorität		mittel		hoch	X	sehr hoch
Umsetzung		sofort	X	kurzfristig		langfristig
Beschreibung und Handlungsschritte						
<p>Die Mitarbeiter müssen bezüglich des Umgangs mit Druckluft geschult werden, dass bedeutet das bei jeder Anwendung hinterfragt werden muss, ob es eine sinnvolle Alternative gibt. Denn unnötiges Druckluftspritzen muss vermieden werden, falls unvermeidlich gibt es hierfür spezielle Injektordüsen. Desweiteren soll Druckluft nicht zum Kühlen genutzt werden, Gebläse sind hierfür die bessere Kühlmethode. Außerdem ist es nicht nur eine rein ökologische Maßnahme, sondern trägt auch zur Gesundheitssteigerung bei, da beim Ausblasen der Werkhalle Schwebstoffe (Schadstoffe) in die Atemwege gelangen können.</p>						
Umsetzung						
Besen und Kehrblech als Alternative für druckluftbasiertes Reinigen, falls Druckluftspritzen unverzichtbar, dann jedoch maximal mit 2 bar						
Erwartete Kosten						
keine						
Erwarteter Nutzen & Einsparungen						
Erwartete Einsparungen pro Jahr (5%) = 1.404,00€						
CO2						5,33 t CO2

***Unternehmen mit 90 kW Kompressor, 100% Auslastung, Strommix (26% erneuerbare Energie, 74% konventionelle Energie**

Maßnahme	Automatisierung Druckluftsteuerung					15
Handlungsfeld		Kompressor	X	Verbraucher		extern
		Leitung	X	Personal		allgemein
Priorität		mittel	X	hoch		sehr hoch
Umsetzung		sofort	X	kurzfristig	X	langfristig
Beschreibung und Handlungsschritte						
<p>Oftmals wird Druckluft verschwendet, da keine automatisierte Steuerung vorhanden ist. Deren Zweck, wäre die punktuelle Steuerung der Druckluft. Durch elektronische Strömungsschalter kann die Luft direkt am Verbraucher gesteuert werden und liegt nur an, wenn das Werkstück anliegt bzw. zum richtigen Zeitpunkt. Installation von elektronischen Strömungsschaltern und Anpassung an die Produktionsabläufe. Hieraus ergeben sich langfristige Kosteneinsparungen und folglich auch eine enorme CO2-Einsparung</p>						
Umsetzung						
Bestandsaufnahme, Identifikation der auszustattenden Produktionsstätten, Installation von elektrischen Strömungsschaltern. Anwendung z.B. Luftvorhang zum reinigen (Werkstück im Prozess = 10s; nicht genutzte Stillzeit 30s bei 4 bar = 1557 l/min						
Erwartete Kosten						
Bei 10:30, wird $\frac{3}{4}$ der eingesetzten Druckluft verschwendet, durch Steuerung wird dies vermieden. Kosten für die Einrichtung belaufen sich auf ca. 3.000€ (Strömungsschalter)						
Erwarteter Nutzen & Einsparungen						
Erwartete Einsparungen pro Jahr: 674,70 € Effizienteres Arbeiten – nur Druckluft just-in-time verwenden						
CO2						7,68 t CO2

***Unternehmen mit 90 kW Kompressor, 100% Auslastung, Strommix (26% ern. Energie, 74% konv. Energie)**

Maßnahme	Wartung der gesamten Anlage					16
Handlungsfeld	X	Kompressor	X	Verbraucher	X	extern
	X	Leitung	X	Personal	X	allgemein
Priorität		mittel		hoch	X	sehr hoch
Umsetzung		sofort		kurzfristig	X	langfristig
Beschreibung und Handlungsschritte						
Die gesamte Anlage soll in regelmäßigen Abständen bzw. nach Herstellervorgabe gewartet werden. Dies umschließt auch die Wartungseinheit: Trockner und Filtereinheit mit ein. Der Trockner muss manuell oder automatisch regelmäßig regeneriert werden. Nur durch eine stetige Kontrolle und Wartung ist die gewünschte Druckluftqualität gewährleistet. Außerdem müssen Rohrleitungen regelmäßig kontrolliert werden. Besonders zu prüfen sind die Filter: Verstopfungseigenschaften, niedriger Taupunkt bedeutet nicht, dass dieser über die gesamte Lebensdauer auf dem niedrigen Niveau verbleibt. Das anfallende Kondensat muss umweltgerecht entsorgt und kontrolliert werden (VDMA 4363)						
Umsetzung						
Wartungsplan einrichten, intern durch Druckluftbeauftragten/durch externe Lösung (Service) regelmäßige Wartung						
Erwartete Kosten						
Installationskosten 4.000€ plus Zusatzmaßnahmen						
Erwarteter Nutzen & Einsparungen						
Kosteneinsparungen geringerer CO2 Ausstoß durch Maßnahmen 1-18, geringere Ausfallwahrscheinlichkeit, effi. Maschinen						
CO2						111,94 t CO2

***Unternehmen mit 90 kW Kompressor, 100% Auslastung, Strommix (26% erneuerbare Energie, 74% konventionelle Energie**

Maßnahme	Umgebungsbedingungen					17
Handlungsfeld	X	Kompressor		Verbraucher		extern
		Leitung		Personal	X	allgemein
Priorität	X	mittel		hoch		sehr hoch
Umsetzung		sofort		kurzfristig	X	langfristig
Beschreibung und Handlungsschritte						
Kompressor-Aufstellung nach VDMA 4363 – Richtlinie: "ca. 2/3 der Kompressorausfälle sind durch falsch aufgestellte Kompressoren und unzureichender Kühlluft verursacht = optimale Temperatur liegt zwischen 10 und 20°C, bei Temperaturen über 35°C wird der Kompressor stärker belastet, auch Temperaturen unter 4°C sind zu vermeiden. Der Betriebsraum soll: trocken, staubfrei und kühl sein. Je nach Größe des Raumes muss eine Belüftung integriert werden. Die Abwärme muss entweder nach draußen abgeführt oder der Wärmerückgewinnung zugeführt werden. [ein 22 kW Kompressor hat ungefähr die Heizleistung die ein großes Einfamilienhaus benötigt]						
Umsetzung						
Neuinstallation der Kompressoranlage (Eigenleistung)						
Erwartete Kosten						
Installationskosten Arbeitszeit 2.000€ plus Zusatzmaßnahmen						
Erwarteter Nutzen & Einsparungen						
geringere Ausfallwahrscheinlichkeit Einsparungen durch geringere Ausfallquote						
CO2						111,94 t CO2

***Unternehmen mit 90 kW Kompressor, 100% Auslastung, Strommix (26% erneuerbare Energie, 74% konventionelle Energie**

Maßnahme	Anwender schulen					18
Handlungsfeld		Kompressor	X	Verbraucher	X	extern
		Leitung	X	Personal	X	allgemein
Priorität		mittel	X	hoch		sehr hoch
Umsetzung		sofort	X	kurzfristig	X	langfristig
Beschreibung und Handlungsschritte						
Betriebsblindheit entgegenwirken: Wenn z.B. Arbeiten länger als gewöhnlich dauern, liegt das u.U. an unzureichenden Luftdruck z.B. verringert sich bei einem Druckluftabfall von 16% die Effizienz des Druckluftwerkzeugs erheblich						
Umsetzung						
Druckluftmessung (Manometer) an allen Werkzeugen - Identifikation der Kostentreiber						
Erwartete Kosten						
Druckluftwerkzeuge	100% [6,3 bar]		84% [5,3]			
[Schleifmaschine]	100%	-30%	70%			
Arbeitsleistung	100%	-40%	60%			
Arbeitszeit	3		4,2			
Stundensatz	30€		30€			
Kosten/Tag	90€		126€			
Kosten/Jahr	23.400€	9.360€ <i>(je Arbeiter)</i>	32.760€			
Erwarteter Nutzen & Einsparungen						
Beseitigung: 10 Arbeiter mit defekten Geräten/mangelnder Druckluft						
CO2						111,94 t CO2

***Unternehmen mit 90 kW Kompressor, 100% Auslastung, Strommix (26% erneuerbare Energie, 74% konventionelle Energie**

Maßnahme	Druckluftaufbereitung				19	
Handlungsfeld	X	Kompressor		Verbraucher	X	extern
	X	Leitung		Personal	X	allgemein
Priorität		mittel	X	hoch		sehr hoch
Umsetzung		sofort	X	kurzfristig	X	langfristig
Beschreibung und Handlungsschritte						
Die Druckluft ist ein teures Gut, deshalb muss das Ziel auch lauten: optimale Luftqualität, den Anforderungen angepasst. Luft beinhaltet viele Verunreinigungen, wie z.B. Partikel, Staub, Öl, Feuchtigkeit, usw. Deshalb führt ungefilterte Druckluft zu Störungen und Produktionsausfällen						
Umsetzung						
Lösung, durch Filterinstallation bzw. Wartungseinheit (Filter, Trockner, ...) Installation und Druckluftqualität beibehalten zieht regelmäßige Wartung nach sich						
Erwartete Kosten						
Installationskosten Wärmetauscher 12.000€ plus Zusatzmaßnahmen						
Erwarteter Nutzen & Einsparungen						
Erwartete Einsparungen pro Jahr: 10.704,87 € $\frac{\text{nutzbare Energie (kW)} * \text{Stunden (h)} * \text{Heizölpreis (€)}}{\text{Heizwert Öl (kWh/l)} * \text{Heizungswirkungsgrad}}$ Amortisation setzt nach ca. 1,12 Jahren ein						
CO2						111,94 t CO2

***Unternehmen mit 90 kW Kompressor, 100% Auslastung, Strommix (26% erneuerbare Energie, 74% konventionelle Energie**

Maßnahme	Druckluftaufbereitung				19	
Handlungsfeld	X	Kompressor		Verbraucher	X	extern
	X	Leitung		Personal	X	allgemein
Priorität		mittel	X	hoch		sehr hoch
Umsetzung		sofort	X	kurzfristig	X	langfristig

Beschreibung und Handlungsschritte

ISO 8573-1:2010 KLASSE	Feststoffpartikel			Massekonzentration mg/m ³	Drucktaupunkt Dampf	Wasser Flüssigkeit in g/m ³	Öl Gesamtanteil Öl (flüssig, Aerosol und Nebel) mg/m ³
	Maximale Anzahl Partikel pro m ³						
	0,1 - 0,5 µm	0,5 - 1 µm	1 - 5 µm				
0	Gemäß Festlegung durch den Gerätenutzer, strengere Anforderungen als Klasse 1						
1	≤ 20.000	≤ 400	≤ 10	-	≤ -70 °C	-	0,01
2	≤ 400.000	≤ 6.000	≤ 100	-	≤ -40 °C	-	0,1
3	-	≤ 90.000	≤ 1.000	-	≤ -20 °C	-	1
4	-	-	≤ 10.000	-	≤ +3 °C	-	5
5	-	-	≤ 100.000	-	≤ +7 °C	-	-
6	-	-	-	≤ 5	≤ +10 °C	-	-
7	-	-	-	5 - 10	-	≤ 0,5	-
8	-	-	-	-	-	0,5 - 5	-
9	-	-	-	-	-	5 - 10	-
X	-	-	-	> 10	-	> 10	> 10

***Unternehmen mit 90 kW Kompressor, 100% Auslastung, Strommix (26% erneuerbare Energie, 74% konventionelle Energie)**

Maßnahme	Literatur					
Handlungsfeld	X	Kompressor	X	Verbraucher	X	extern
	X	Leitung	X	Personal	X	allgemein
Priorität		mittel		hoch		sehr hoch
Umsetzung		sofort		kurzfristig		langfristig

Druckluft - Literatur

- Rationalisieren mit Pneumatik (1983). Karlsruhe: Heizmann (ITB-Forschungsberichte).
- Druckluft effizient. Fakten zur Druckluft (2003). Karlsruhe: Fraunhofer ISI (Druckluft-Fakten).
- Bierbaum, Ulrich; Freitag, Günther (1997): Druckluft-Kompendium. Rahden: Leidorf.
- Bonfig, Karl W. (2002): Technische Durchflussmessung. Unter besonderer Berücksichtigung neuartiger Durchflussmessverfahren. 3. Aufl. Essen: Vulkan-Verl.
- Feldmann, Karl-Heinz (2003): Optimale Druckluftverteilung. So spart man Energie und Kosten in Druckluftleitungsnetzen ; mit 11 Tabellen. 2., völlig neu bearb. Aufl. Renningen: Expert-Verl. (Kontakt & Studium, Bd. 197).
- 14024:2001, Februar 2001: Norm DIN EN ISO 14024:2001, : Umweltkennzeichnungen und -deklarationen (Umweltkennzeichnung Typ I) - Grundsätze und Verfahren.
- Rothe, Matthias (1993): Druckluftherzeugung und -aufbereitung. Methoden, Anwendung, Umweltschutz. Landsberg/Lech: Verl. Moderne Industrie (Die Bibliothek der Technik, Bd. 76).
- Ruppelt, Erwin (2003): Druckluft-Handbuch. 4. Aufl. Essen: Vulkan-Verl.
- Tschandl, Martin; Posch, Alfred (2012): Integriertes Umweltcontrolling. Von der Stoffstromanalyse zum Bewertungs- und Informationssystem. 2. Aufl. Wiesbaden: Gabler Verlag / Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, Wiesbaden (SpringerLink : Bücher).



Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Betreut von:



Carbon Management

Leitfaden zur Planung und Steuerung der Maßnahmenumsetzung

Leitfaden zur Planung und Steuerung der Maßnahmenumsetzung



■ Planung

■ Steuerung

Maßnahmenplanung

Unternehmerische Tätigkeiten benötigen eine Planung (Forecast: Auswirkungen und Erfolg):

Unternehmensplanung i.e.S. versteht man die Institutionalisierung und Formalisierung der Planungsfunktion im Unternehmen. Sie ist ein Managementkonzept zur Unterstützung der Unternehmensführung. Ergebnis sind Pläne für die zu führenden Organisationseinheiten. Meist wird mit der Planungsfunktion direkt auch die Kontrolle der Pläne verbunden.

Planungs- und Kontrollsysteme werden benötigt durch:

- Komplexe Umwelt
- Interne Komplexität
- Vielzahl an Teilsystemen

Quellen:
<http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/2521/unternehmensplanung-v13.html>

Maßnahmenplanung

Für das Controlling ist die Planung primär ein Konzept zur Koordination dezentralisierter Entscheidungen

- Pläne
 - Hierarchisches Konzept
- Planung
 - Gestaltungscharakter
 - Zukunftsbezogenheit
 - Rationalität
 - Prozesscharakter

Quellen:
Friedl (2003), S.119f.

Was versteht man unter Planung?

verschiedene Begriffsauffassungen:

Ergebnisorientierter Planungsbegriff

Planung ist die Produktion von Plänen, d.h. vereinfachter, symbolischer Modelle zukünftiger realer Systeme. Mit diesen Plänen soll ein Commitment geschaffen werden, innerhalb einer angegebenen Zeit bestimmte Systemzustände zu erreichen.

Prozessorientierter Planungsbegriff

Planung ist eine Phase im „Ongoing Process“ der Problemhandhabung von Unternehmen, die v.a. mit Entwurf, Bewertung und Auswahl von Zielprojektionen und Maßnahmen in Zusammenhang steht. Dabei wird auch die Planungsphase selbst als ein komplexer Entscheidungsprozess, bestehend aus Exploration, Analyse, Planung und Steuerung, interpretiert.

Institutioneller Planungsbegriff

Planung stellt ein organisatorisches Subsystem (Managementsystem) dar, das bestimmte Funktionen für die Unternehmung erfüllt.

Quellen:

Hammer, Richard M. (2015): Unternehmensplanung. Planung und Führung. 9., überarb. und erw. Aufl. Berlin [u.a.]: De Gruyter.

Funktionen der Unternehmensplanung

Funktionen:

- Absorption von Unsicherheit
- Komplexitätsreduktion
- Lernprozesse über Planabweichungen bzw. veränderte Annahmen
- Leistungsmotivation
- Kreativitätsförderung
- Koordination
- Umweltanpassung

Als komplementär zum Planungsbegriff wird der Kontrollbegriff betrachtet (Kontrolle, Controlling), was auch in den das Management unterstützenden *Planungs- und Kontrollsystemen* der Führungsorganisation zum Ausdruck kommt.

Quellen:

Hammer, Richard M. (2015): Unternehmensplanung. Planung und Führung. 9., überarb. und erw. Aufl. Berlin [u.a.]: De Gruyter.

Planungsebenen

Planungsebenen:

- unternehmenspolitische Rahmenplanung
- strategische Planung
- operative Planung

Unternehmenspolitische Rahmenplanung: Es geht hier primär um die Definition des Zwecks des Unternehmens und seiner grundsätzlich als Ganzes gegenüber den Anspruchsgruppen (Kunden, Investoren, Mitarbeiter etc.) verfolgten Ziele und Vision, die allgemeinen Grundsätze der Unternehmenspolitik, die Grundsätze der Mitarbeiterführung, die gemeinsam geteilten Werte etc. Diese normativen Festlegungen werden häufig in einem Unternehmensleitbild (oder einem „Mission Statement“) explizit gemacht.

Quellen:

Hammer, Richard M. (2015): Unternehmensplanung. Planung und Führung. 9., überarb. und erw. Aufl. Berlin [u.a.]: De Gruyter.

Rieg, Robert (2015): Planung und Budgetierung. Was wirklich funktioniert. 2., überarbeitete Aufl. 2015. Wiesbaden: Gabler Verlag (SpringerLink : Bücher).

Planungsebenen

Strategische Planung (als Teilaufgabe eines strategischen Managements) bezieht sich auf den Aufbau, die Pflege, die Kombination und den Rückzug von Erfolgspotenzialen, die das langfristige Überleben bzw. den Fortschritt der Unternehmung sichern sollen. Ziel ist die Realisierung *nachhaltiger Wettbewerbsvorteile* im Einklang mit Umwelt und Gesellschaft auf Ebene der Geschäfte und des Gesamtunternehmens.

Operative Planung basiert auf den Vorgaben aus der strategischen Planung, bricht diese nun aber in zeitliche Perioden (z.B. Jahresplanung) und ausführende Einheiten auf. Auf ihr basiert eine Budgetierung und Finanzplanung.

Quellen:

Ehrmann, Thomas (2007): Strategische Planung. Methoden und Praxisanwendungen ; mit 27 Tabellen. 2., verb. Aufl. Berlin, Heidelberg, New York, NY: Springer (Springer-Lehrbuch).

Zimmermann, Alexander (2010): Praxisorientierte Unternehmensplanung mit harten und weichen Daten. Das strategische Führungssystem. Berlin, Heidelberg: Springer.

Bruhn, Manfred (2014): Integrierte Unternehmens- und Markenkommunikation. Strategische Planung und operative Umsetzung. 6., überarbeitete Auflage. Stuttgart: Schäffer-Poeschel.

Abgrenzungskriterien können sein:

(1) *Umfang der geplanten Maßnahme*

(2) *Zeithorizonte:*

- Planungshorizont
- kurz- und langfristige Planung
- Planungsrunden

(3) *Umfeldorientierung (je komplexer die Umwelt, desto planungsintensiver)*

(4) *Kontext:*

strategische Planung: Erfolgspotenzial (abstrakt-analytisch)

operative Planung: klassische Erfolgsgrößen (Gewinn, Ertrag, ...)

Probleme der Planungspraxis: Die operativen Pläne lassen sich nicht einfach aus den strategischen Plänen ableiten, eine „Übersetzung“ ist erforderlich. Gerade daran aber scheitert die Praxis oftmals: Das Resultat sind strategische Pläne, die mit viel Aufwand erstellt, aber niemals in das operative Tagesgeschäft umgesetzt werden.

Quellen:

Hammer, Richard M. (2015): Unternehmensplanung. Planung und Führung. 9., überarb. und erw. Aufl. Berlin [u.a.]: De Gruyter.

Planungsprozess und –instrumente

Planungsprozess

- Zielbildung
- Umfeldanalyse
- Umfeldprognose
- Optionensuche und –bewertung
- Entscheidung

Planungsinstrumente:

- Metaplan-Technik
- Kreativitätstechniken (z.B. Brainstorming, Synektik, morphologische Methoden)
- systematische Analyse- und Bewertungsmethoden (Branchenanalysen, Stärken-Schwächen-Analysen, Szenario-Analysen, Investitionsrechnungsverfahren, Nutzwertanalyse, Portfolio-Analysen, Sensitivitätsanalysen, ...)

Quelle:
Haas, Sandra (2010): Markenportfoliobereinigungen. Entwicklung eines Planungsprozesses zur Strategieformulierung. Wiesbaden: Gabler Verlag / Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden.
Corsten, Hans; Gössinger, Ralf (2008): Projektmanagement. Einführung. 2. Aufl. München: Oldenbourg (Lehr- und Handbücher der Betriebswirtschaftslehre).
Töpfer (Kontrollsysteme) S.39 und Hahn (Planung) 3186f.

Planungsprozess und –instrumente

Unternehmensplanung – Instrumente

Zielbildung	
Teilschritte	Methoden/Instrumente
<ul style="list-style-type: none"> – Suche, Analyse und Ordnung von Zielen – Operationalisierung und Prüfung auf Realisierbarkeit – Prüfung auf Konsistenz bzw. Konflikte – Setzung von Prioritäten – Festlegung von Nebenbedingungen – Operationalisierung der Ziele nach Erreichungsgrad, Zeitraum, Zuständigkeiten – Zielauswahl und -revision 	<ul style="list-style-type: none"> – Relevanz- oder Entscheidungsbäume – Kennzahlensysteme – Kompatibilitäts- und Konfliktanalyse – Pattern
↓	
Problemanalyse	
Teilschritte	Methoden/Instrumente
<ul style="list-style-type: none"> – Erkenntnis und Analyse des Problems nach Ursachen und Ausmaß durch Diagnose/Prognose und Vergleich mit den Zielen – Beschreibung und Auflösung des Gesamtproblems in einzelne Elemente und Feststellung ihrer Abhängigkeitsbeziehungen – Abgrenzung des Problems und Ordnung (Strukturierung) nach Gegenständen, Zeitbezug, Schwierigkeitsgrad und Zielrelevanz – Detailanalyse der Ursachen und systematische Gliederung nach Ansatzpunkten zur Problemlösung bzw. Ursachenbehebung 	<ul style="list-style-type: none"> – Lagediagnose und -prognose – Scenario-writing – Strukturanalyse – Systemanalyse – Kausalanalyse – SOFT-Analyse – Life-Cycle-Analyse – Produkt-Status-Analyse – Gap-Projektion – Checklisten – Wertanalyse – Kepner-Tregoe-Technik
↓	
Alternativensuche	
Teilschritte	Methoden/Instrumente
<ul style="list-style-type: none"> – Auffinden und Gliedern möglicher Ansatzpunkte für die Problemlösung – Suche nach Handlungsmöglichkeiten (Lösungsideen) – Gliederung und Ordnung der Einzelvorschläge – Konkretisierung und Strukturierung der Alternativen – Vollständigkeits- und Zulässigkeitsprüfung (Negativauswahl nicht realisierbarer Alternativen) 	<ul style="list-style-type: none"> – Kreativitätstechniken <ul style="list-style-type: none"> • Brainstorming • Brainstorming Methode 635 • Brainstorming Synektik • Brainstorming morphologische Methode • Brainstorming Funktionsanalyse • Brainstorming progressive Abstraktion • Brainstorming Bionik – Zustandsbäume – Entscheidungsbäume – Systemanalyse – Checklisten – Produkt-Status-Analyse

Unternehmensplanung – Instrumente (Fortsetzung)

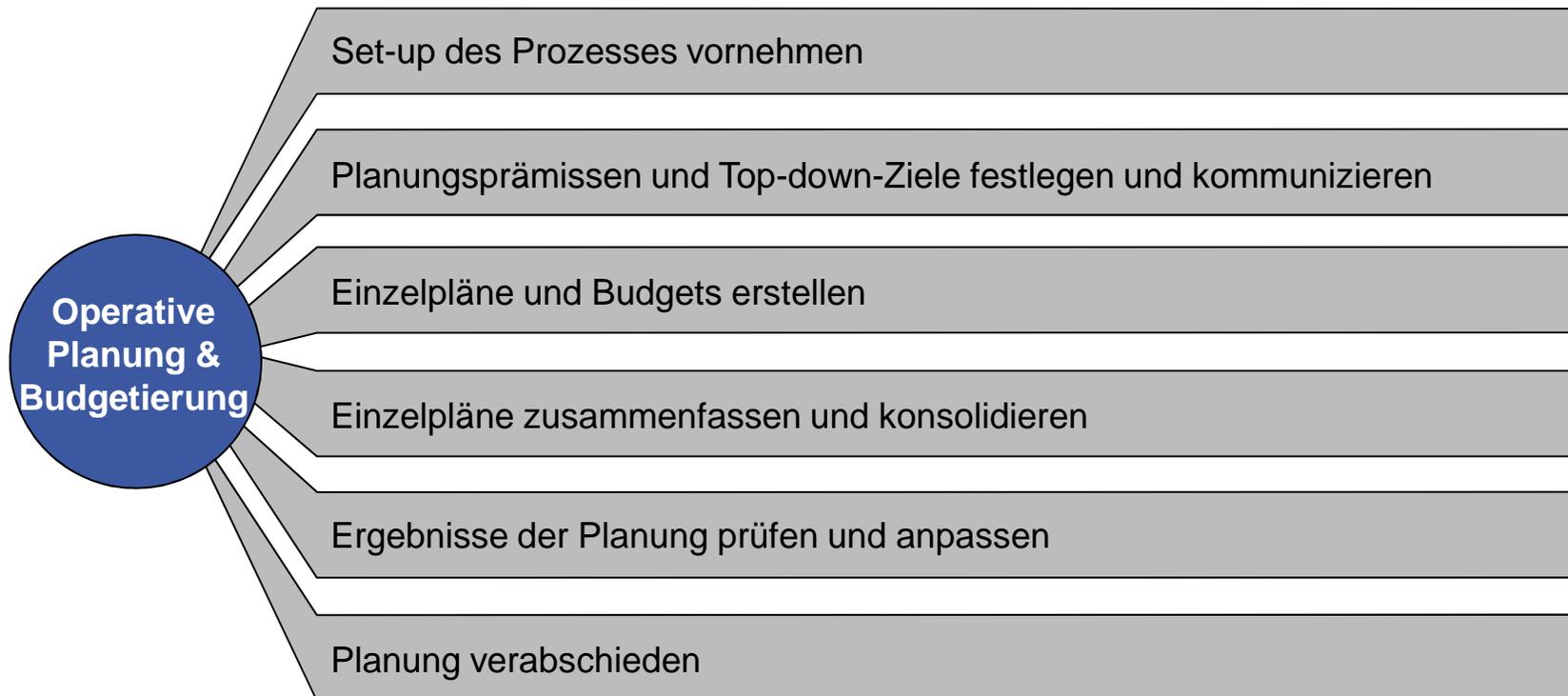
Prognose	
Teilschritte	Methoden/Instrumente
<ul style="list-style-type: none"> – Abgrenzung des Prognoseproblems – Bestimmung der erforderlichen Prognosen nach Inhalt, Präzision und zeitlicher Reichweite usw. – Analyse des Wirkungszusammenhangs zwischen zu prognostizierender Größe und Bestimmungsursachen bzw. Indikatoren – Aufstellung des Prognosemodells bzw. Aufwendung des Auswahlverfahrens – Gewinnung der Prognose(n) – Angabe der Bedingungen, unter denen sie gilt – Abschätzung der Prognosesicherheit (wenn möglich: Wahrscheinlichkeit) und Beurteilung nach weiteren Gütekriterien – Auswahl einer Prognose – Konsistenzprüfung 	<ul style="list-style-type: none"> – mathematisch-statistische Prognosemodelle <ul style="list-style-type: none"> • Trendmodelle • Exponential Smoothing • Wachstums- und Sättigungsfunktionen • Regressionsmodelle • ökonomische Modelle • Simulationsmodelle • Netzplantechnik – intuitive Prognoseverfahren <ul style="list-style-type: none"> • Relevanzbäume • Scenario-writing • morphologische Analyse • Kausalanalyse • Systemanalyse – argumentatives Auswahlverfahren – Bewertungsmethoden
↓	
Bewertung	
Teilschritte	Methoden/Instrumente
<ul style="list-style-type: none"> – Bestimmung der Bewertungsobjekte und der Ziele, an denen sie beurteilt werden sollten – Festlegung der Bewertungskriterien und ihrer (Kriterien)Gewichte – Festlegung der Maßstäbe und Skalen (-niveaus) – Bestimmung der Kriterienwerte bzw. Aufstellung von Teil-Werturteilen – Wertsynthese zwecks Ermittlung der Gesamtbewertung durch Zusammenfassung der Teilergebnisse – Prüfung der Konsistenz der Werturteile 	<ul style="list-style-type: none"> – Kosten-Nutzen-Analyse – Kosten-Wirksamkeits-Analyse – Nutzwert-Analyse – Investitionsrechnung – F/E-Bewertungsverfahren – Produktbewertungsprofile – Break-even-Analyse – Kennzahlensysteme – Relevanzbäume – Bewertungsregeln – Bewertungsprofile
↓	
Entscheidung	
Teilschritte	Methoden/Instrumente
<ul style="list-style-type: none"> – Entscheidungsziel u. -kriterien festlegen – evtl. Entscheidungsmodell aufstellen – Vorauswahl zulässiger Entscheidungsalternativen bzw. Festlegung von Restriktionen – Auswahl der optimalen Alternative bzw. Bestimmung mehrstufiger E-folgen – Prüfung auf Konsistenz mit anderen Entscheidungen – evtl. Ressourcenzuordnung und Zuständigkeitsfestlegung (Durchführungsträger) 	<ul style="list-style-type: none"> – mathematische Entscheidungsmodelle – Entscheidungsbäume – Entscheidungstabellen – Entscheidungskriterien bzw. -regeln – Entscheidungsfunktionen

Quellen:

Wild, Jürgen (1982): Grundlagen der Unternehmensplanung. 4. Aufl. Opladen: Westdt. Verl. (WV-Studium, 26).

Speziell: Operative Planung

Für die Umsetzung des Maßnahmenkatalogs ist die operative Planung die geeignetste Planungssystematik. Alle Maßnahmen haben einen kurz- bis mittelfristigen Charakter.



Quelle:
 Weber, Jürgen; Schäffer, Utz (2011): Einführung in das Controlling. 13., überarbeitete und aktualisierte Auflage. Stuttgart: Schäffer-Poeschel.
 In Anlehnung an IGC 2011, S21

Speziell: Operative Planung

Prozess:

Zuerst werden alle organisatorischen Aspekte (Planungskalender, Detailniveau,...) geklärt. Anschließend werden die Planungsprämissen und –ziele festgelegt, d.h. externe und interne Gegebenheiten, wie auch die Unternehmensstrategie müssen beachtet werden. Der eigentliche Planungsprozess besitzt mehrere Etappen, bis der eigentliche Plan feststeht. Anschließend muss dieser Einzelplan mit den anderen Plänen im Unternehmen abgestimmt werden, evtl. auch angepasst werden und schlussendlich verabschiedet werden.

Die ökologischen Ziele werden bei der Operativen Planung durch die Planungsprämissen sowie der Top-down Ziele beachtet.

Quelle:
Weber, Jürgen; Schäffer, Utz (2011): Einführung in das Controlling. 13., überarbeitete und aktualisierte Auflage. Stuttgart: Schäffer-Poeschel.
In Anlehnung an IGC 2011, S21

Speziell: Operative Planung

Die operative Planung besteht aus zwei Planungsebenen, der Sachzielplanung und der Formalzielplanung.

Sachzielplanung betrifft das Unternehmen bzw. alle Bereiche des Unternehmens

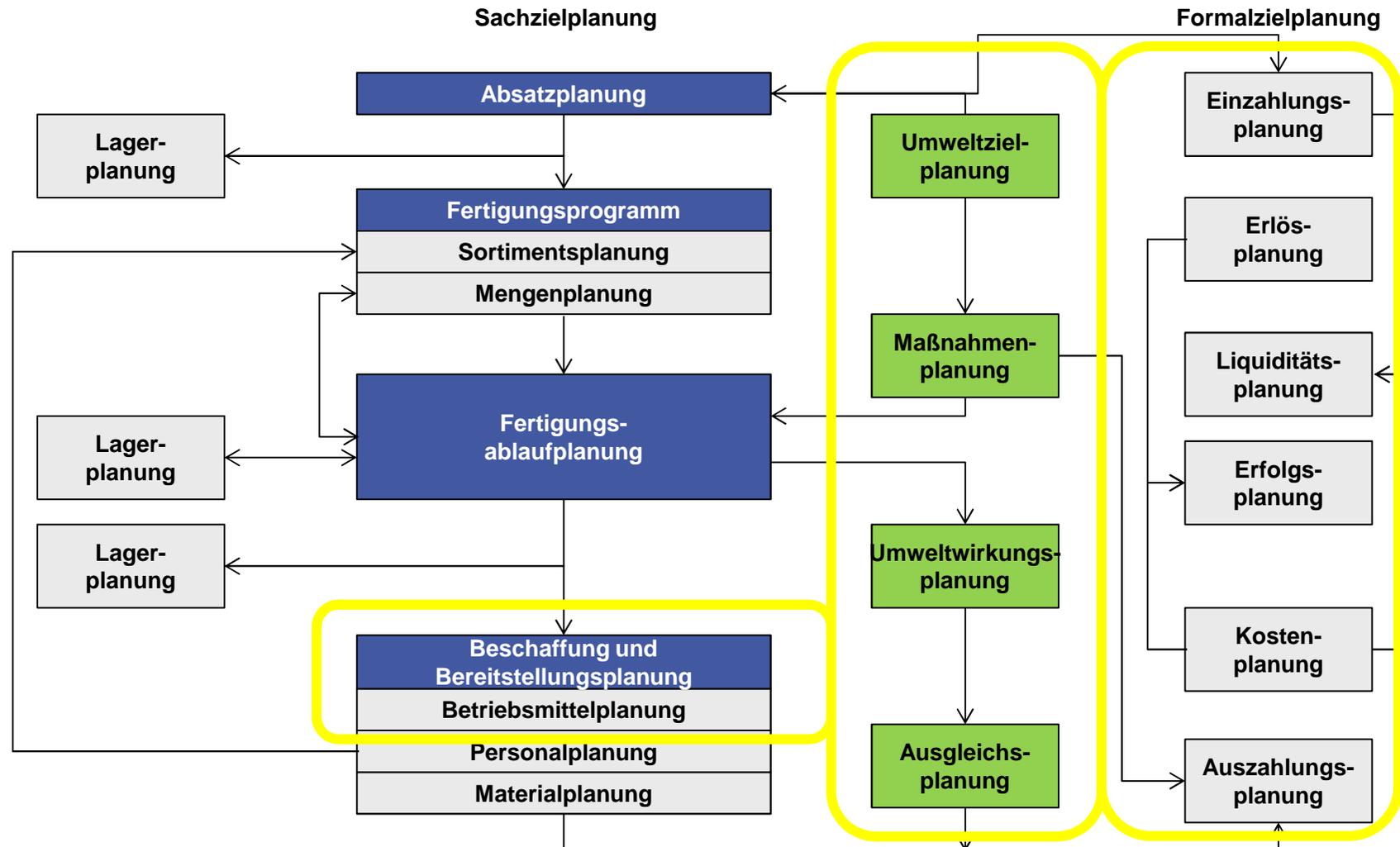
Formalzielplanung betrifft die finanzielle Sicht des Unternehmens

Die Maßnahmen aus dem erweiterbaren Katalog mit bewerteten Maßnahmen zur Emissionssenkung betreffen folgende Bereiche:



Quelle:
Weber, Jürgen; Schäffer, Utz (2011): Einführung in das Controlling. 13., überarbeitete und aktualisierte Auflage. Stuttgart: Schäffer-Poeschel.

Speziell: Operative Planung



Quelle: Weber, Jürgen; Schäffer, Utz (2011): Einführung in das Controlling. 13., überarbeitete und aktualisierte Auflage. Stuttgart: Schäffer-Poeschel.

Speziell: Operative Planung

Umweltzielplanung:

Die top-down Ziele werden in die integrierte Umweltplanung übernommen

Maßnahmenplanung:

Hier werden die Maßnahmensteckbriefe geplant und bewertet

Umweltwirkungsplanung:

Dieser Planungsschritt berechnet die CO₂-Einsparung durch die jeweilige Lösung

Quelle:

Weber, Jürgen; Schäffer, Utz (2011): Einführung in das Controlling. 13., überarbeitete und aktualisierte Auflage. Stuttgart: Schäffer-Poeschel.
In Anlehnung an IGC 2011, S21

Speziell: Operative Planung

Erweiterbarer Katalog mit bewerteten Maßnahmen zur Emissionssenkung

Maßnahmen	
Wärmetauscher	Revision des Kompressors
Leckagen am Kompressor	Alternativen zur Druckluft
Leckagen im Leitungsnetz	Umgang (ökologisch und ökonomisch)
Leckagen an den Verbrauchsstellen	Automatisierung Druckluftsteuerung
Druckniveau	Wartung der gesamten Anlage
Brauchwassererwärmung	Umgebungsbedingungen
Leerlauf und Abschaltung	Anwender schulen
Wahl des richtigen Kompressors	Druckluftaufbereitung
Neuanlage	Wärmetauscher
Druckluftüberwachung	

Quelle:
Erweiterbarer Katalog mit bewerteten Maßnahmen zur Emissionssenkung [Carbon Management Projekt]

Operative Budgetfestlegung

Beispiel: Besteht von Seiten der Geschäftsführung das top-down Ziel: „Reduzierung der CO₂-Emissionen um 15%“, so ist zunächst sicherzustellen wie viel Tonnen CO₂ eingespart werden müssen. Anschließend muss das Budget für die Betriebsmittelplanung festgelegt werden (Druckluft sowie die Druckluftanlage).

Die Hauptaufgabe ist die Maximierung der CO₂-Einsparungen mit dem festgelegten Budget.

Quelle:

Sander, Matthias (2004): Marketing-Management. Märkte, Marktinformationen und Marktbearbeitung. Stuttgart: Lucius und Lucius (UTB, 8251).

Operative Budgetfestlegung

Beispiel: Die Hauptaufgabe ist die Maximierung der CO2-Einsparungen mit dem festgelegten Budget.

Maßnahme	Einsparung	Kosten	Relation	Reihenfolge
A	10	3.000 €	300 €	2
B	3	400 €	133 €	1
C	4	4.000 €	1.000 €	6
D	3	2.500 €	833 €	5
E	11	6.200 €	564 €	4
F	6	3.000 €	500 €	3

Budget: 12.500 €

Maßnahmenbündel:	aufsummiert		aufsummiert		aufsummiert				
	B	400 €	400 €	B	400 €	400 €	A	3.000 €	3.000 €
	A	3.000 €	3.400 €	A	3.000 €	3.400 €	E	6.200 €	9.200 €
	F	3.000 €	6.400 €	F	3.000 €	6.400 €	B	400 €	9.600 €
	E	6.200 €	12.600 €	D	2.500 €	8.900 €	D	2.500 €	12.100 €
	D	2.500 €	15.100 €	C	4.000 €	12.900 €			
	C	4.000 €	19.100 €						
max. CO2 Einsparung:			19		22			27	
			6.400 €		8.900 €			12.100 €	

Leitfaden zur Planung und Steuerung der Maßnahmenumsetzung



■ Planung

■ **Steuerung**

Prozess der Steuerung der Maßnahmenumsetzung



- Jede Planung besitzt ein Realisationsrisiko (Nichterfüllung des Plans)
 - Unzureichende Planverfolgung der ausführenden Organe
 - Unvorhersehbare Abweichungen der Prämissen, die den Plan definieren
- Gegenwartsbezogen
- Lösung von bestehenden Störungen/Problemen

Die Steuerung ist ein geordneter, informationsverarbeitender Prozess zur Veranlassung der Planrealisation sowie zur zielführenden Einflussnahme auf die Planrealisation.

Quelle: Schweizer (Planung) S.20ff.

Aufgabenbereiche der Steuerung

- Durchsetzung
 - Planrealisation ermöglichen
 - Vorbereitung der Aufgabenträger
- Kontrolle
 - Überwachung (während und nach dem Projekt)
 - Vergleich mit Vorgabewerten
- Sicherung
 - Eingreifende Entscheidungen zur Sicherstellung der Planerreicherung
 - Korrektur der Pläne, Rahmenbedingungen, Antizipation der Veränderungen für nachfolgende Planungszyklen

Quelle: Troßmann (Fertigungsvorbereitung) S.249f.

Kontrolle der Maßnahmenumsetzung

- Kontrollziel
 - Erfolg, Wirtschaftlichkeit, Qualität, ...
- Kontrollobjekt
 - Siehe nachfolgende Folie
- Kontrollgröße
- Vergleichswerte

	Ergebnis	Verfahren	Verhalten
Planung	Inhaltskontrolle	Kontrolle des Planungsprozesses	Kontrolle des Planungsverhaltens
Planrealisation	Kontrolle des Realisationsergebnisses	Kontrolle des Realisationsprozesses	Kontrolle des Realisationsverhaltens

Quelle: Lenz (Kontrollprozess) S. 978

Kontrollgrößen

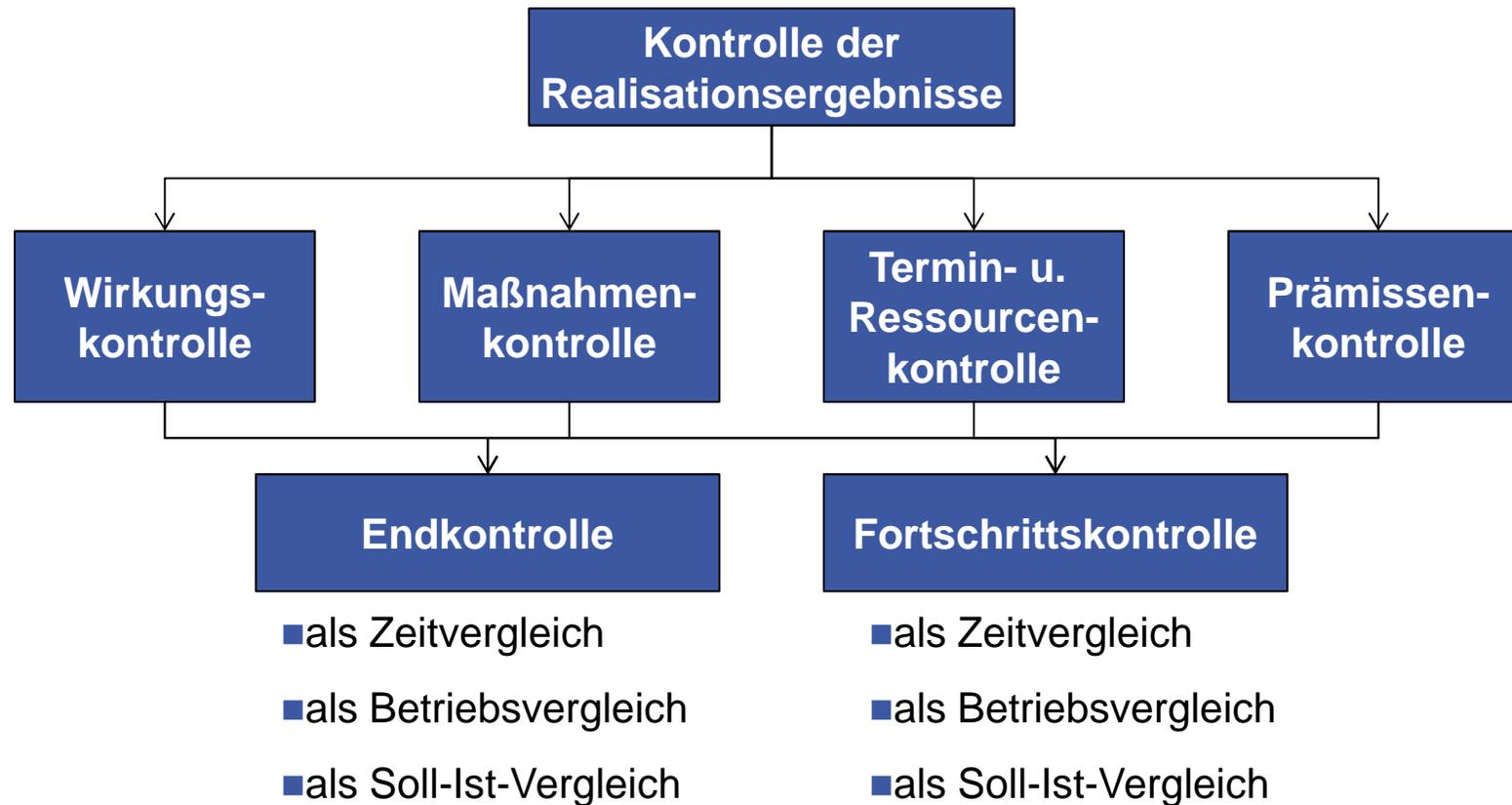
- Wirkungskontrollen (z.B. Erfolg, Kosten, Erlöse,...)
- Maßnahmenkontrollen (bestimmte Inhalte der Planung als Kontrollgröße)
- Ressourcen- und Terminkontrollen (z.B. Meilensteine bei der Zielerreichung)

Ausprägungen der Kontrollgröße

- Vorgabewerte
 - z.B. Ist-Werte der Vorperiode, ähnliche Projekte, Bechmarking
- Kontrollwert
 - Ex-ante (während dem Projekt) – Fortschrittskontrolle
 - Ex-post (nach dem Projekt) – Endkontrolle

Quelle:
Franken/Fese (Kontrolle) S.890f.
Scherer (Kostenrechnung) S.477ff.
Böcker (Marketing Kontrolle) S128f.

Vergleichswerte



Quelle: Scherer (Kostenrechnung) S.477ff.

Kontrolle

Strategische Kontrolle ist problematisch, da:

- strategische Maßnahmen eine verzögerte Wirkung haben (kein Eingriff mehr möglich).

Der Wandel von Prämissen, welche die vollständige Erfassung und Bewertung erschweren

Jedoch lösbar durch Teilkontrollen, sodass:

- die Prämissen, die Durchführung und die Überwachung kontrolliert werden können

Operative Kontrolle:

- Endkontrolle - Kein Eingreifen – keine Planungskorrekturen
- Teilkontrollen - Bei längeren Planungszeiträumen
 - Planungsfortschrittkontrolle
 - Prämissenkontrolle

Quelle:

Schreyögg/Steinmann (Kontrolle) S.401ff.

Zettelmeyer (Management) S.80f.

Kontrollfunktion

Warum kontrolliert man?

Zur:

- Entscheidungsunterstützung
 - Gewinnung von Informationen (Zielabweichungen)
 - Verbesserung der Entscheidungsprozesse
 - Verbesserung des Ergebnisses
- Verhaltensbeeinflussung
 - Zielkonflikte zwischen der Bereichsleitung und der Unternehmensleitung
 - Informationsasymmetrien
 - Bemessungsgrundlage für verhaltensverändernde Maßnahmen

Quelle:

Thieme (Verhaltensbeeinflussung) S.22f. Laux/Lietmann (Erfolgskontrollen) S.7f.

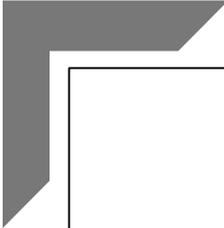
Klook (Erfolgskontrolle) S.427f,

Kontrollprozess

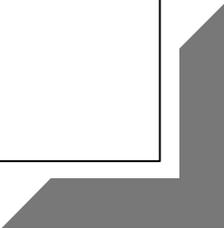
- Feststellung des Kontrollproblems
 - Kontrollobjekte werden in Kontrollsysteme überführt
 - Ermöglicht routinemäßige Kontrolle
- Ermittlung der Vergleichswerte der Kontrollgrößen
 - Erfassung
 - Prognose
 - Bestimmung der Vorgabewerte
- Feststellung der Abweichungen
 - Gegenüberstellung der Vergleichswerte
- Abweichungsanalyse
- Auslösung von Entscheidungen über Sicherungsmaßnahmen

Quelle:
in Anlehnung an Treuz (Kontroll-Systeme) S.56f.

Ursachen von Abweichungen



Nicht beeinflussbare Abweichungen werden durch unvorhersehbare Zufallsereignisse verursacht und sind demzufolge nicht vermeidbar

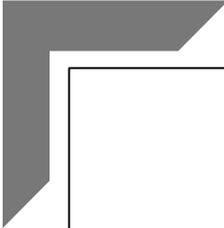


Quelle:
Ewert/Wagenhofer (Unternehmensrechnung) S.342f.

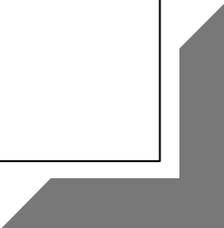
Ursachen von Abweichungen

Arten von Teilabweichungen nach der Verantwortlichkeit		Abweichungsursachen
Zu eliminierende Teilabweichungen	Extern verursachte Teilabweichungen	Abweichungen bei Einflussfaktoren der Kontrollgröße, die vom Handlungsträger nicht gestaltbar sind
	Prognosebedingte Teilabweichungen (Planung)	Fehler bei der Prognose der Wirkungen einer Entscheidung auf die Kontrollgröße
	Auswertungsbedingte Teilabweichungen (Kontrolle)	Auswertungsfehler, d.h. Erfassungs-, Prognose- oder Berechnungsfehler bei der Bestimmung der Ist-, Wird- und Sollwerte für die Kontrolle
Vom Entscheidungsträger zu vertretende Fehler		Fehlentscheidungen, die ihre Ursache in Prognosefehlern oder der fehlerhaften Beschreibung von Prämissen oder Alternativen haben
Vom Ausführungsträger zu vertretende Fehler		Beabsichtigtes oder unbeabsichtigtes Abweichen von den Vorgaben eines Planes; Fehlverhalten bei der Planrealisation

Quelle:
Berz (Kontrollsystem) S.986

A grey L-shaped decorative graphic in the top-left corner of the text box.

Ein Kontrollsystem ist die personelle,
organisatorische und technische Infrastruktur für
die Durchführung von Kontrollen

A grey L-shaped decorative graphic in the bottom-right corner of the text box.

Quelle:
Berz (Kontrollsystem) S.986

Kontrollsystem - Gestaltung

Inhaltliche Gestaltungsparameter	Organisatorische Gestaltungsparameter	Methodische Gestaltungsparameter
<ul style="list-style-type: none"> ■ Kontrollumfang <ul style="list-style-type: none"> ■ Kontrollziele ■ Kontrollobjekte ■ Kontrollgrößen ■ Normgrößen ■ Vergleichsgrößen 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Organisationsgrad ■ Aufbauorganisation <ul style="list-style-type: none"> ■ Verteilung der Kontrollaufgaben ■ Verteilung der Kontroll- und Anordnungs-kompetenz ■ Ablauforganisation <ul style="list-style-type: none"> ■ Regelmäßigkeit der Kontrolle ■ Häufigkeit der Kontrolle 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Methodeneinsatz ■ Modelleinsatz ■ Einsatz von technischen Hilfsmitteln

Quelle:
Küpper (Industrielles Controlling) S.944f.

Kontrollsystem - Ausprägung

- Vollkontrolle
 - Alle Pläne (Bestandteile und Ziele) werden kontrolliert
 - Sehr aufwändig und kosten- und zeitintensiv
- Teilkontrolle
 - Regelfall
 - Abgrenzung muss sinnvoll gewählt werden (Gewichtung der Pläne, Ziele etc.)

Quelle:
Treuz (Kontrollsysteme) S58ff.

Kontrollsystem - Ausprägung

- Vollkontrolle
 - Alle Pläne (Bestandteile und Ziele) werden kontrolliert
 - Sehr aufwändig und kosten- und zeitintensiv
- Teilkontrolle
 - Regelfall
 - Abgrenzung muss sinnvoll gewählt werden (Gewichtung der Pläne, Ziele etc.)

Quelle: Treuz (Kontrollsysteme) S58ff.

Kontrollinstrumente

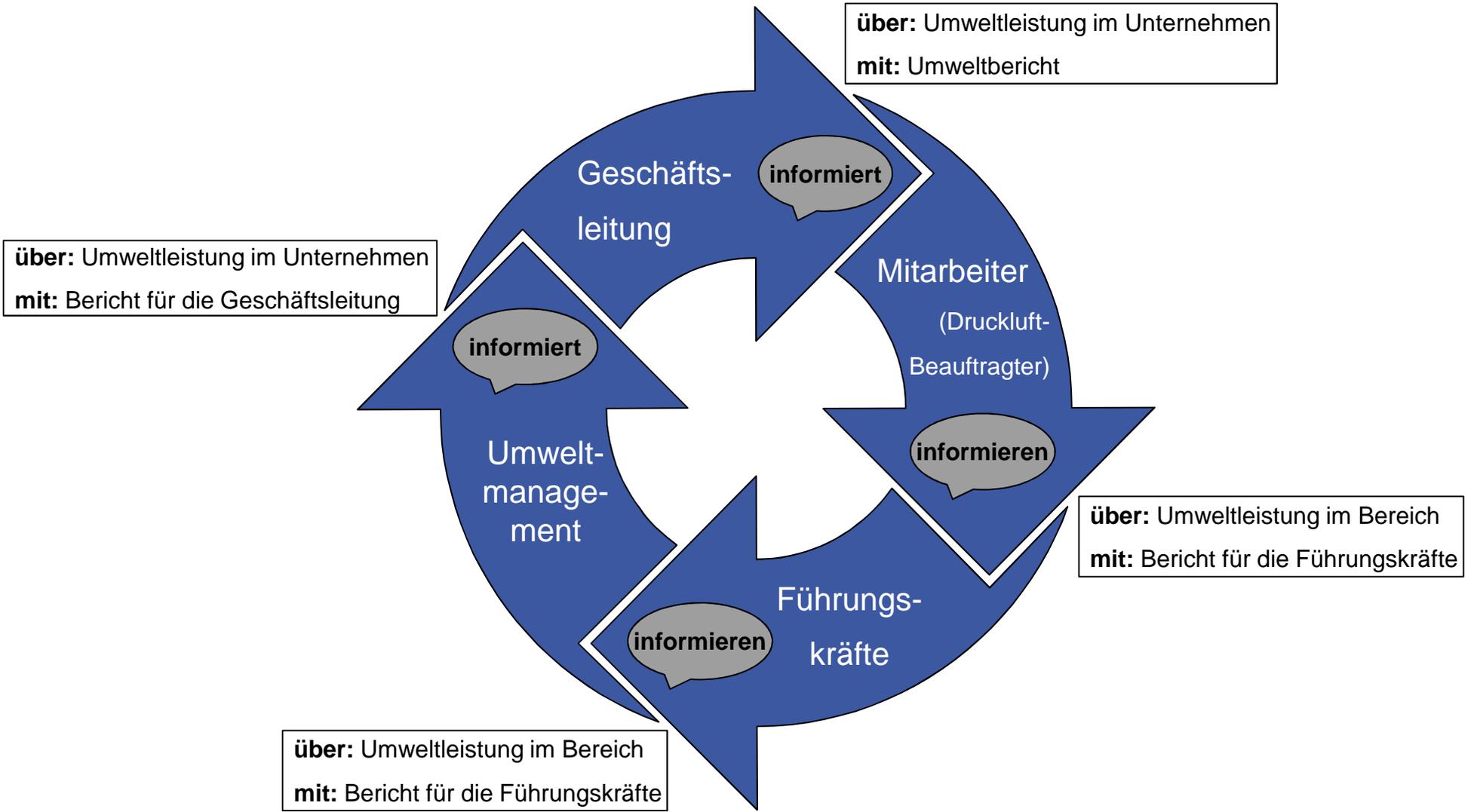
Arten von Kontrollinstrumenten	Beispiele
Instrumente zur Bildung von Kontrollschwerpunkten	<ul style="list-style-type: none"> ■ ABC-Analyse ■ Sensitivitätsanalyse ■ Simulation ■ Netzplantechnik ■ Risikoanalyse ■ Schwachstellenanalyse
Instrumente zur Beurteilung von Abweichungen	<ul style="list-style-type: none"> ■ Statische Modelle ■ Einperiodige Modelle ■ Mehrperiodige Modelle
Instrumente zur Spaltung von Abweichungen	<ul style="list-style-type: none"> ■ Abweichungsanalysen ■ Methoden zur Spaltung höherer Ordnung

Quelle: Küpper (Industrielles Controlling) S.944f.

Kommunikation/Umsetzung

- Die Umsetzung von Maßnahmen erfolgt im Zeitverlauf
- Steuerung und Planung sind ein stetiger Prozess
- Alle Maßnahmen benötigen für eine nachhaltige Wirkung ein Reporting

Akteure informieren!



Aufgabenverteilung bei der Umsetzung strategischer Umweltziele



Geschäftsleitung	Führungskräfte/ Bereichsleiter	Mitarbeiter (Druckluftbeauftragter)	Umwelt- management
<ul style="list-style-type: none"> ■ Über „grünes“ Budget entscheiden ■ Über „grüne“ Investitionen entscheiden ■ Über Maßnahmeninitiierung entscheiden ■ Zielerreichung der Umweltstrategie bewerten ■ Fortschritt der Umweltmaßnahmen bewerten ■ Über Korrektur- und Vorbeugemaßnahmen entscheiden 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Umweltmaßnahmen im Verantwortungsbereich implementieren ■ Aufgaben für Umweltmaßnahmen delegieren ■ Fortschritt der Maßnahmen überwachen und Probleme bei der Umsetzung erfassen ■ Korrektur- und Vorbeugemaßnahmen im Verantwortungsbereich ■ An die Geschäftsleitung und/oder Umweltmanagement berichten ■ Verantwortlich für die Einhaltung gesetzlicher Umweltvorschriften 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Umweltmaßnahmen durchführen und umsetzen ■ Vorgaben zur Durchführung der Maßnahmen umsetzen ■ Akkurate Daten für die Führungskraft bereitstellen ■ Kennzahlen bilden ■ Berichte an die Führungskräfte erstellen ■ Abweichungen, Probleme und Konflikte bei der Durchführung melden ■ Dauerhafte Verhaltensänderung 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Gesamtüberblick über alle Umweltaktivitäten erlangen ■ Vorschläge für neue Umweltmaßnahmen entwickeln ■ Verantwortlich für die Einhaltung gesetzlicher Umweltvorschriften ■ Bericht für die Geschäftsleitung und Umweltbericht erstellen ■ Kennzahlen bilden ■ Informationsmaßnahmen durchführen ■ Kontrolle (Interne Audits) ■ Kommunikations- und „Wachrüttler“-Funktion

Maßnahmen zur Verbesserung der Umweltleistung – speziell Druckluftanlage

Zielerreichung Quartal 4/2013	Geplante Aktivitäten	Erwartete ökolog. Ergebnisse	Erwartete ökonom. Ergebnisse
Ziel 1  Verringerung des CO ₂ -Ausstoßes	Maßnahmen zur CO ₂ -Einsparung – siehe Maßnahmenkatalog	Die Maßnahmen sollen zu einer Reduzierung des Energieverbrauchs und CO ₂ -Emissionen um 30-50% führen.	Amortisationszeit von ca. 2 Jahren. Danach jährliche Kostenersparnis in Höhe von ca. XXXX € p.a.
Ziel 2  Effizienzsteigerung der Druckluftanlage	Alte Anlagen durch Neue ersetzen bzw. modernisieren und alte Fehler vermeiden	Verringerung des Druckluftbedarfs führt zu CO ₂ Einsparung	Einsparung der unnötig erzeugten Druckluft und genaue Bedarfsermittlung für eine langfristige Einsparung
Ziel 3  Einsatz innovativer Technologien in der Fertigung	Einsatz von neuen Werkzeugen, die für die jeweilige Arbeit als Substitut für Druckluftwerkzeuge anzusehen sind	Geringer Energieverbrauch, Förderung der Arbeitssicherheit	Schnelle Amortisation und Steigerung der Produktqualität
Ziel 4  Niedriger Energieverbrauch im Gebäudemanagement.	Einsatz von Wärmepumpen und Abwärmenutzung	30% Verringerung des Energieverbrauchs in den Gebäuden.	Investitionssumme von ca. 100.000 Euro. Amortisationszeit von 3 Jahren, danach Kostenersparnisse in Höhe von 30.000 Euro p.a.
Ziel 5  Mitarbeiter für ökologischen Kurs sensibilisieren	Alle Mitarbeiter für CO ₂ Reduktion schulen, sodass Wertigkeit für Ressourcen geschaffen werden	Nachhaltiger Umgang mit Ressourcen, speziell Umgang mit Druckluft (CO ₂ Einsparung plus gesundheitsfördernder Umgang)	Günstige Schulung, nachhaltiger Effekt

Kommentare

Zu Ziel 5: Mitarbeiter, ein Lernprozess, dessen Wirkung sich erst mit der Zeit einstellt.

Maßnahmen zur Verbesserung der Umweltleistung

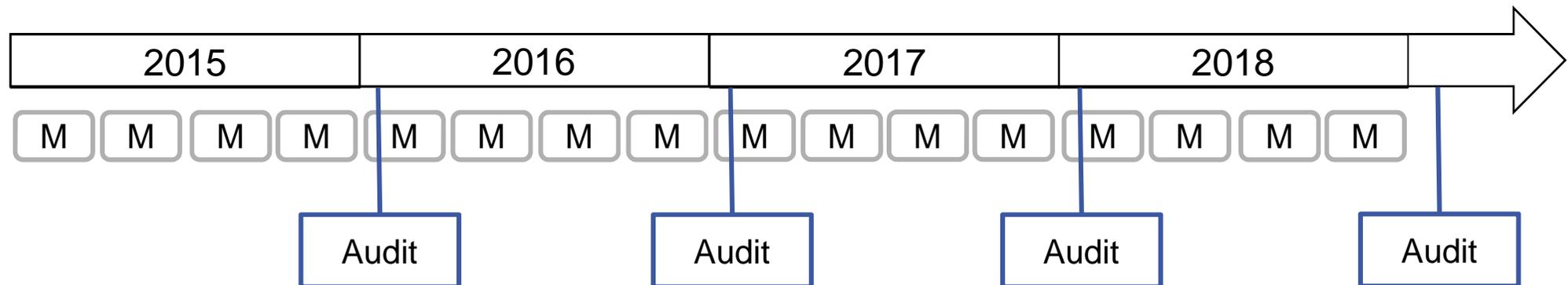
Zeitraum: Angabe des Zeithorizonts	Geplante Aktivitäten	Erwartete ökolog. Ergebnisse	Erwartete ökonom. Ergebnisse
Ziel 1 ● Kurze, konkrete Nennung des ökologischen Ziel 1.	Erklärung der geplanten Maßnahmen zur Erreichung des ökologischen Ziel 1, z.B. Mitarbeiterschulung en für umwelteffizientes Vrhalten.	Beschreibung der zu erwartenden ökologischen Ergebnisse in konkreten Zahlen (sofern möglich), z.B. Reduzierung des Drucklufteinsatzes/CO2-Ausstoß um x % bis 20XX.	Beschreibung der zu erwartenden ökonomischen Ergebnisse in konkreten Zahlen (sofern möglich), z.B. Reduzierung der Energie-Kosten um x% durch reduzierten Drucklufteinsatz.
Ziel 2 ● Beispiel: Reduzierung des Kraftstoffeinsatzes der Nutzfahrzeugflotte.			
Ziel 3 ●	Erklärung der Ampel: Visuelle Darstellung des Status Quo des Maßnahmen-Bereichs. Rot = Sehr schlecht; Gelb = ungenügend; Grün = gut Beispiel: Sehr hoher aktueller Drucklufteinsatz.		
Ziel 4 ●			
Ziel 5 ●			

Kommentare

In diesem Feld besteht die Möglichkeit, Kommentare zu Zielen und Maßnahmen zu platzieren. Bspw. kann hier konkreter auf mögliche Risiken hinsichtlich des Erreichens der ökologischen und ökonomischen Ergebnisse eingegangen werden.

Zeitablauf: Maßnahmen & Kontrolle

- Basis: Literaturrecherche, Projektergebnisse, Experteninterviews



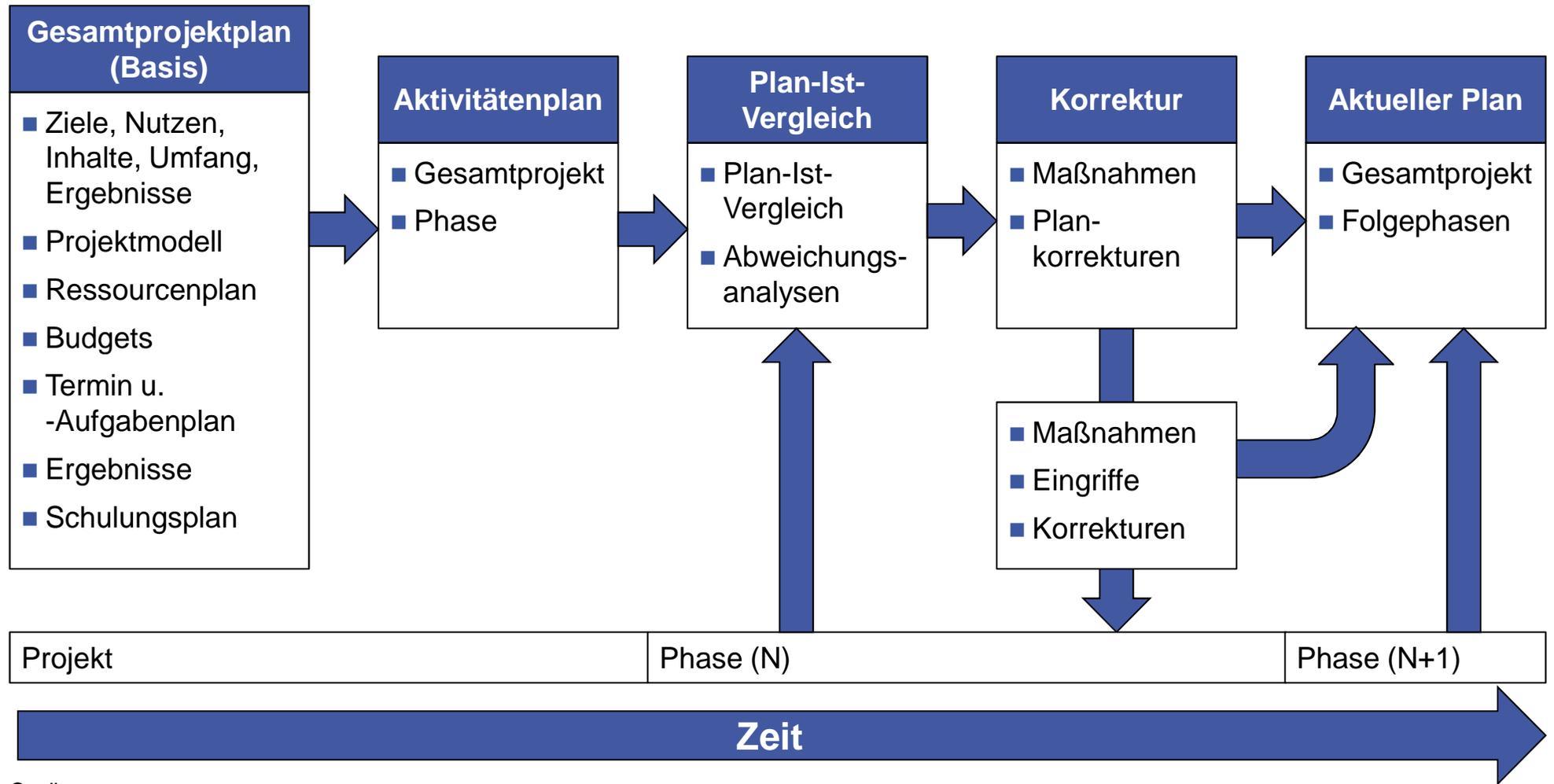
Maßnahmen: Projektcontrolling

Kosten gem. Steckbriefe, Plan/Ist/Forecast, Zeitpunkt der Umsetzung, etc.

Audit: Standardbericht + Maßnahmenliste

ca. 5 Kennzahlen + Situation, Maßnahme, Verantwortlicher, Status/Zielerreichungsgrad

Zusammenfassung: Regelkreis Planung und Steuerung



Quelle:
Fiedler, Controlling von Projekten, 6. Auflage 2014



Carbon Management

Praxishandbuch

Das IGF-Vorhaben 17992 N / 1 der Forschungsvereinigung Institut für Energie- und Umwelttechnik e.V. - IUTA, Bliersheimer Straße 60, 47229 Duisburg wurde über die AIF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Lieber Leser, liebe Leserin,

auf den nachfolgenden Seiten finden Sie Informationen rund um das Thema Carbon Management. Das Praxishandbuch gliedert sich in zwei Bereiche, dem Carbon Management-Zyklus und der praktischen Anwendung in Form von Fallstudien.

Im Carbon Management-Zyklus finden Sie Grundlageninformationen zum

Allgemeine Informationen (*Folie 4 – 8*),

Carbon Accounting (*Folie 9 – 46*),

Carbon Planning (*Folie 47 – 72*),

Carbon Reporting (*Folie 73 – 75*),

Carbon Controlling (*Folie 76 – 84*).

Detailwissen (Validierung der Forschungsergebnisse) in Form der praktischen Übertragbarkeit mittels Fallstudien finden Sie auf den *Folien 85 – 139*.

■ Carbon Management für Druckluftfilter

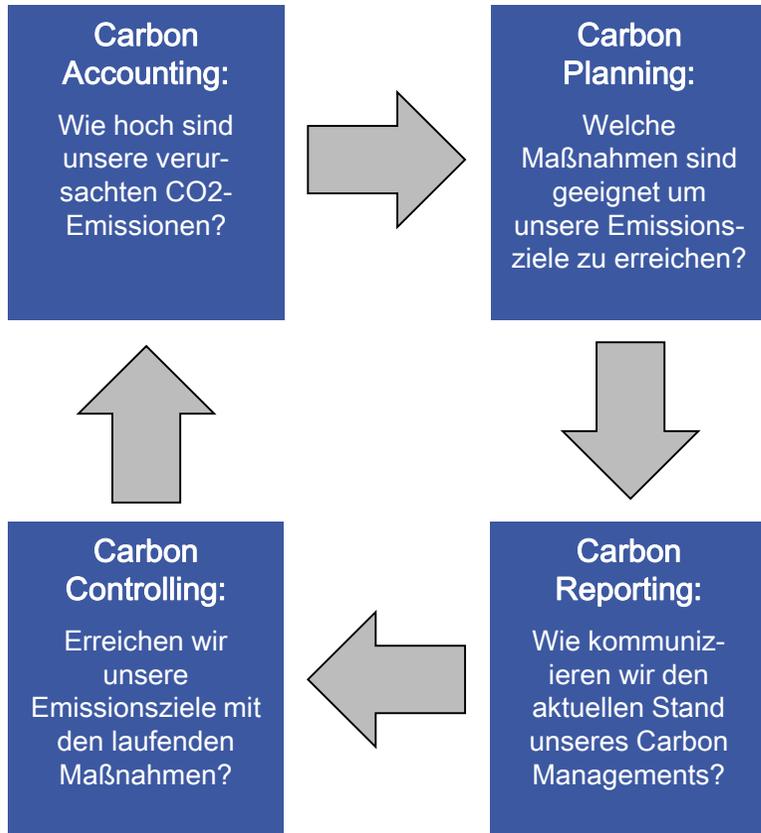
- Praktische Anwendungen (Fallstudien)

Begriff – Carbon Management

In Anlehnung an das allgemeine Verständnis des Begriffs Management, ist das **Carbon Management definiert als die Planung, Umsetzung und Steuerung von Maßnahmen**, durch die die CO₂-Emissionsziele eines Unternehmens erreicht werden können. Die verschiedenen Aspekte der Definition werden nachfolgend erläutert.

Carbon Management beschreibt einen **Steuerungszyklus**, der auch aus anderen Unternehmensbereichen bekannt ist. Ausgehend von (langfristigen) Zielen, die mithilfe von Kennzahlen operationalisiert werden, werden Maßnahmen geplant und umgesetzt. Für die Umsetzung werden Verantwortliche festgelegt, die, mit oder ohne zusätzliches Budget, die Maßnahmen in einer vorgegebenen Zeitspanne realisieren sollen. Ob die Maßnahmen die geplante Wirkung entfaltet haben oder ob weitere Maßnahmen notwendig sind, um die gesetzten Ziele zu erreichen, offenbart sich im Bereich der Steuerung. Die Grundlage bilden Berichte über die eingangs festgelegten Kennzahlen, durch die die Ist-Erreichung der Ziele deutlich wird und mithilfe der die Zielerreichung am Ende der betrachteten Zeitspanne prognostiziert werden kann. Weicht die prognostizierte Zielerreichung von der geplanten Zielerreichung ab, sind Steuerungsimpulse notwendig.

Besonderheiten des Carbon Management-Zyklus



- Die Erfassung der Ist-Emissionen (**Carbon Accounting**) anhand von Kennzahlen stellt Unternehmen aufgrund der überwiegend schlechten Datenverfügbarkeit meist vor größere Probleme. Ein Schwerpunkt des Carbon Managements liegt daher auf den Möglichkeiten mit diesen Erfassungsproblemen umzugehen.
- Nur wenige Unternehmen verfolgen eine eigenständige „CO₂-Strategie“ aus welcher Emissionsziele für die Unternehmensprozesse und seine -produkte abgeleitet werden können. Notwendig sind daher alternative Vorgehensweisen, welche Unternehmen bei der Planung ihrer CO₂-Ziele unterstützen (**Carbon Planning**).
- Unternehmen fehlen häufig die Erfahrung und das Wissen, die Wirkung von emissionssenkenden Maßnahmen zu prognostizieren und zu verfolgen (**Carbon Controlling**). Dies erfordert spezifische Vorgehensweisen, um Emissionstreiber in Unternehmen identifizieren und steuern zu können.
- An Informationen über den Erfolg des Carbon Managements sind letztlich nicht nur unternehmensinterne Berichtsempfänger, sondern auch unternehmensexterne Anspruchsgruppen interessiert. Eine Carbon Management-Konzeption muss dies durch ein entsprechendes **Carbon Reporting** berücksichtigen.

Kernfragen des Carbon Managements (1/2)

Carbon Accounting: Wie hoch sind unsere verursachten CO₂-Emissionen?

Durch das **Carbon Accounting** werden CO₂-Emissionen möglichst verursachungsgerecht erfasst. Unterschieden werden kann dabei zwischen verschiedenen Bezugsobjekten (**Emissionsträger**) wie einzelne Produkte oder Dienstleistungen, einzelne Unternehmensprozesse oder Unternehmensbereiche, einzelne Werke oder die gesamte Wertschöpfungskette. Das Carbon Accounting erfolgt dabei im Spannungsfeld zwischen Detaillierungsgrad, Erfassungsaufwand und den technischen Möglichkeiten für die output-orientierte Messung der Emissionen.

Carbon Planning: Welche Maßnahmen sind geeignet um unsere Emissionsziele zu erreichen?

Ist bekannt welche Emissionsträger mit welcher Höhe zu den CO₂-Emissionen eines Unternehmens beitragen, werden konkrete Emissionsziele erarbeitet. Dazu werden geeignete Ankerpunkte identifiziert, anhand der sich die Zielbildung orientiert. Die Zielbildung ermöglicht den Vergleich von Ist- und Ziel-Werten und die Identifikation von Handlungsbedarfen. Weichen Ist- und Zielwert voneinander ab, werden geeignete emissionsenkende Maßnahmen identifiziert und ausgewählt.

Carbon Controlling: Erreichen wir unsere Emissionsziele mit den laufenden Maßnahmen?

Die laufenden Maßnahmen werden innerhalb des Carbon Controllings beobachtet. Durch den Abgleich der geplanten (Ziel-)Emissionen mit den Ist-Werten sowie den prognostizierten Werten wird regelmäßig geprüft, ob die Emissionsziele erreicht werden oder ob zusätzliche Maßnahmen notwendig sind. Das Maßnahmencontrolling ermöglicht es zudem das Wissen zu Emissionstreibern zu vertiefen und Best-Practices zu identifizieren.

Kernfragen des Carbon Managements (2/2)

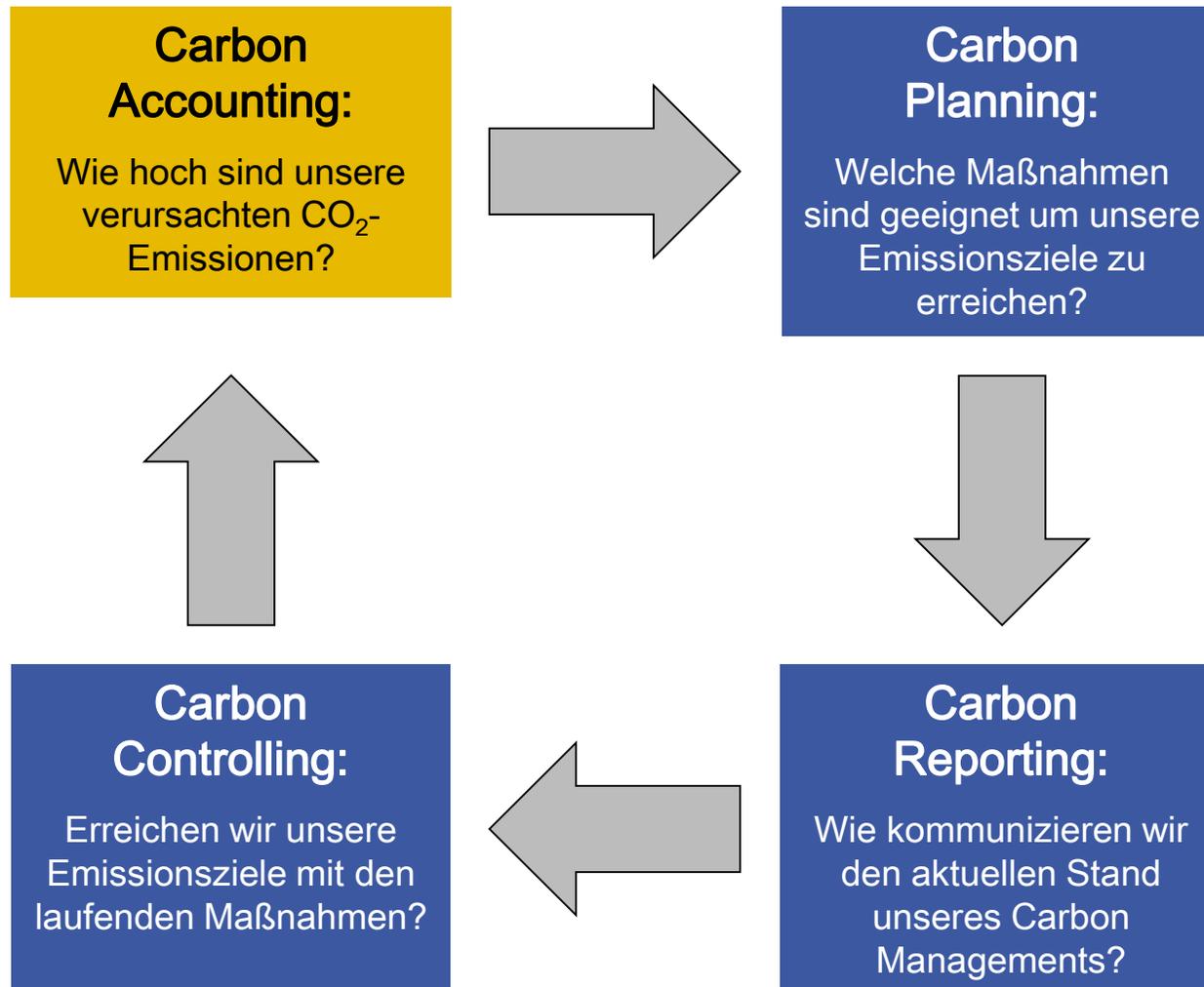
Carbon Reporting: Wie kommunizieren wir den aktuellen Stand unseres Carbon Managements?

Durch das Carbon Reporting werden verschiedene interne und externe Anspruchsgruppen regelmäßig über den aktuellen Stand des Carbon Managements informiert. Die Berichte orientieren sich dabei an den Informationsbedürfnissen der verschiedenen Empfängergruppen. Interne Emissionsberichte erfolgen integriert innerhalb des bestehenden Berichtswesens. Im Hinblick auf externe Empfänger fließen darüber hinaus die verschiedenen Empfehlungen und Standards der Nachhaltigkeitsberichterstattung in das Reporting ein.

Wissenschaftlich-technische Ergebnisbausteine des Projekts Carbon Management

<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Unterstützungsleistung durch Hersteller oder Dienstleister</p>	<p><u>Ergebnisbaustein 1: „Carbon Accounting der Produktion“</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Entscheidungsunterstützung durch CO₂-Ausweis anhand standardisierter Belastungsszenarien und für verschiedene Filtertypen • Unterstützung beim Benchmarking verschiedener Filtertypen • Anleitung zur Emissionsschätzung für (ausländische) Produkte ohne CO₂-Ausweis 	<p><u>Ergebnisbaustein 2: „Carbon Accounting des Betriebs und der Entsorgung“</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Zusammenstellung wichtiger Kenngrößen zu den Emissionstreibern in Abhängigkeit von den unternehmensspezifischen Prozessen • Anleitungen zum direkten/indirekten Messen der Emissionen und Zusammenstellung geeigneter Messinstrumente und Methoden • Kalkulationsvorschriften für die Berechnung von CO₂-Emissionen 	<p><u>Ergebnisbaustein 3: „Carbon Planning und Controlling“</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Wirtschaftliche und ökologische Entsorgungsplanung, inkl. Entscheidungsunterstützung bzgl. Ersatzinvestition vs. Lebenszyklusverlängerung • Katalog mit wirtschaftlich und ökologisch bewerteten Maßnahmen zur kontinuierlichen Emissionssenkung • Leitfaden zur Planung und Steuerung der Maßnahmenumsetzung, inkl. Kennzahlen zur Beurteilung der Ergebnisqualität von Einzelmaßnahmen und Maßnahmebündeln
	<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Zweck</p>	<p>Ergebnisbaustein 1 unterstützt den Kunden (Druckluftfilteranwender) bei der Kaufentscheidung</p>	<p>Ergebnisbaustein 2 unterstützt den Kunden (Druckluftfilteranwender) die durch den Filter im realen Einsatz verursachten CO₂-Emissionen aufwandsarm zu messen und zu berechnen.</p>

Carbon Management-Zyklus

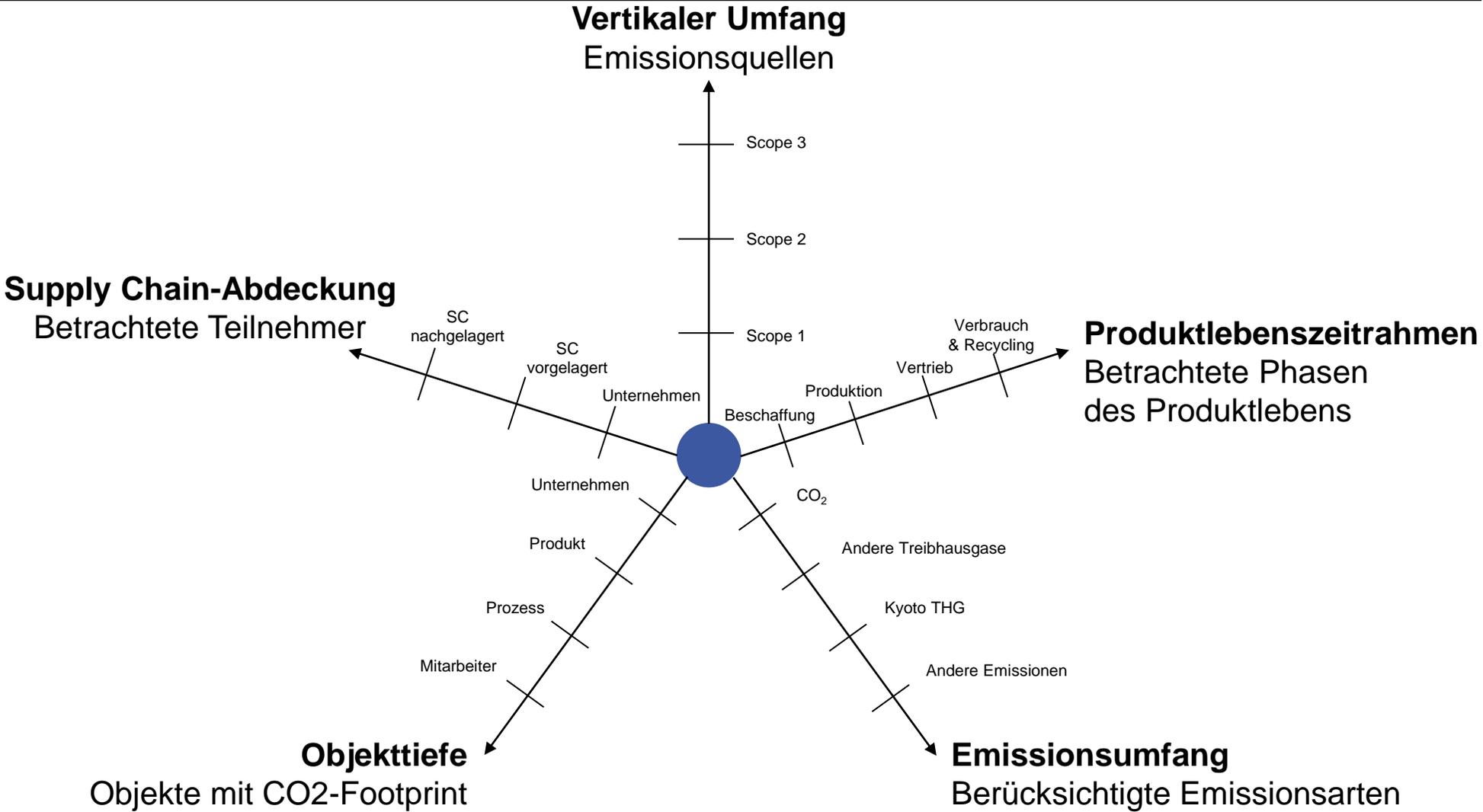


„Das Carbon Accounting umfasst die Gewinnung nötiger Informationen zur **Erfassung der CO₂-Emissionen**. Hierunter fallen die Messungen und Verteilung der CO₂-Werte auf Produkte, Dienstleistungen oder Organisationseinheiten und die Erstellung entsprechender **Soll-Ist-Vergleiche**“ Infolgedessen ist es ein wichtiger Zulieferer für ökologisch gestützte Entscheidungsprozesse innerhalb des Unternehmens (vgl. Eitelwein/Goretzki 2010). Es bildet die Schnittstelle, indem Zusammenhänge zwischen Ökonomie und Ökologie aufgezeigt werden. Somit nimmt es eine aktive Rolle in der **umweltorientierten Unternehmensführung** ein, welche sich stark an das traditionelle Verständnis der Kernaufgaben eines Controllers orientiert. (Isensee/Michel, 2011)

Die **Carbon Accounting Dimensionsspinne** (nach Eitelwein & Goretzki 2010) stellt die möglichen Bilanzierungsobjekte (Scope-Umfang, Lebenszyklus, Radius, Objekt und Emissionsart) dar. Die Grafik (nachfolgend) verdeutlicht den Zusammenhang zwischen Intensität der Datenerhebung und dem Kosten- und Zeitaufwand.

Für die praktische Umsetzung eines Carbon Accounting existiert mit dem **Greenhouse Gas Protocol** (GHG-Protocol) „Product Life Cycle Accounting and Reporting Standards“ und der Norm ISO 14064 „Spezifikation mit Anleitung zur quantitativen Bestimmung und Berichterstattung von Treibhausgasemissionen und Entzug von Treibhausgasen auf Organisations-ebene“ bereits eine weitverbreitete Anwendungs- und Vorgehensgrundlage (GHG-Protocol, 2011; DIN EN ISO 14064-1:2012). Die Grundsätze für das Carbon Controlling und Accounting nach dem GHG-Protocol lehnen sich dabei offen an die des finanziellen Rechnungswesens an (Lamberton, 2005; Günther/Stechemesser, 2010).

Carbon Accounting Dimensionsspinne (nach Eitelwein & Goretzki 2010)



Carbon Accounting

Das Carbon Accounting umfasst drei Schritte :

1. **Erfassung der Emissionen (Messsysteme, Berechnungsmethoden)**
2. Aufbereitung der Emissionsdaten in Kennzahlen
3. Kennzahlen-Vergleiche

Wie können Emissionen erfasst werden?

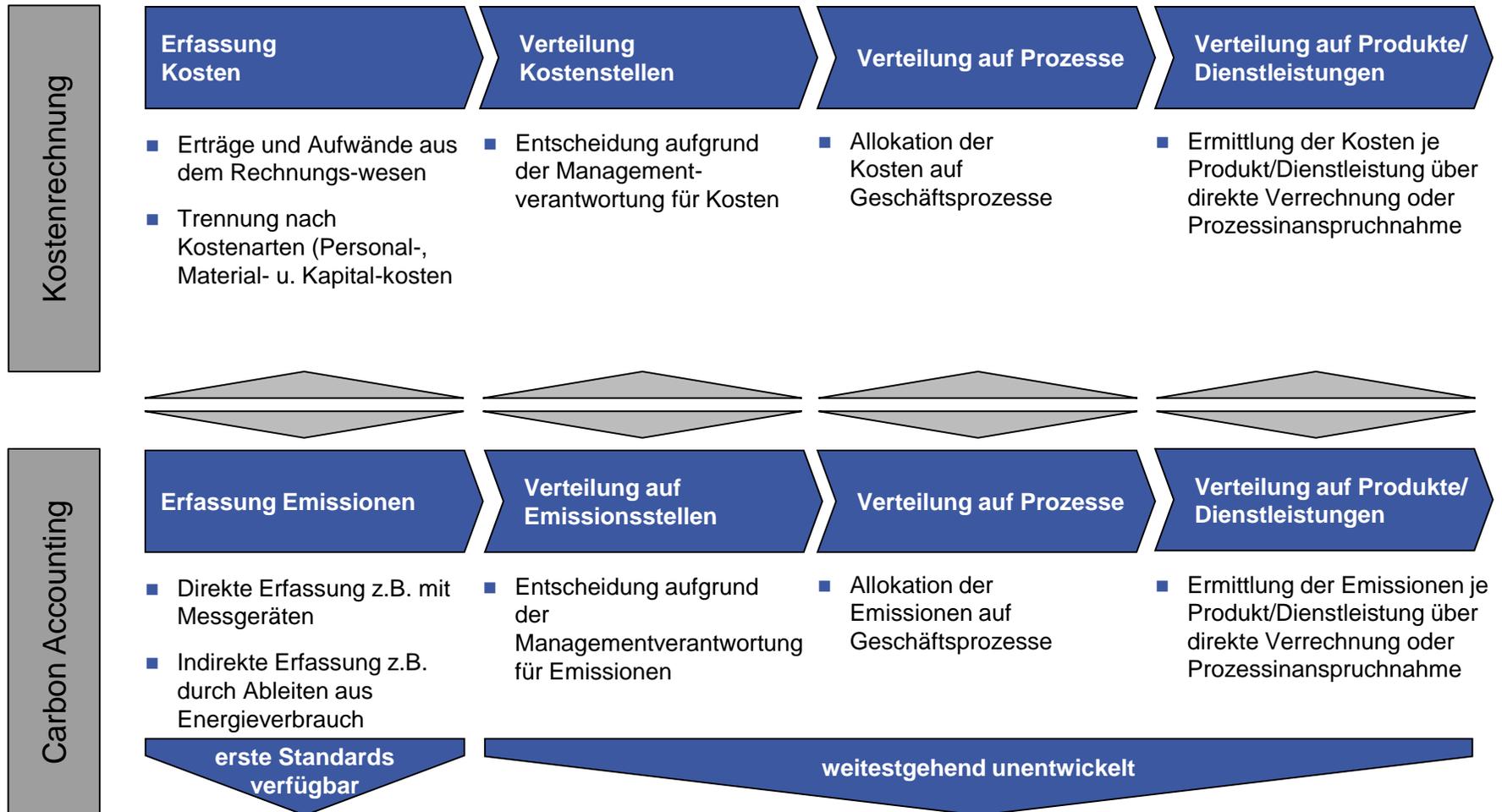
Das GHG-Protocol teilt Emissionen in **drei Kategorien** („**Scopes**“) ein (GHG-Protocol, 2011):

Scope 1:	direkte Emissionen, die durch das eigene Unternehmen entstehen z.B. durch Strom-, Wärme- und Dampferzeugung
Scope 2:	indirekte Emissionen, die durch fremdbezogene Energie entstehen z.B. externe Stromerzeugung
Scope 3:	alle weiteren indirekten Emissionen, die durch Subunternehmen verursacht werden alle Emissionen, die die Vorkette betreffen

Insbesondere **Kategorie 3** ist im Weiteren von zentraler Bedeutung, wenn CO₂-Emissionen von Druckluftfiltern aus Sicht der Kunden betrachtet werden, die ihrerseits gezwungen sind, diese als Emissionen aus Leistungen Dritter bzw. Vorleistungen zu berücksichtigen.

Welche Parallelen gibt es zur klassischen Kostenrechnung?

Es lassen sich deutliche Parallelen zwischen Carbon Accounting und der klassischen Kostenrechnung finden:



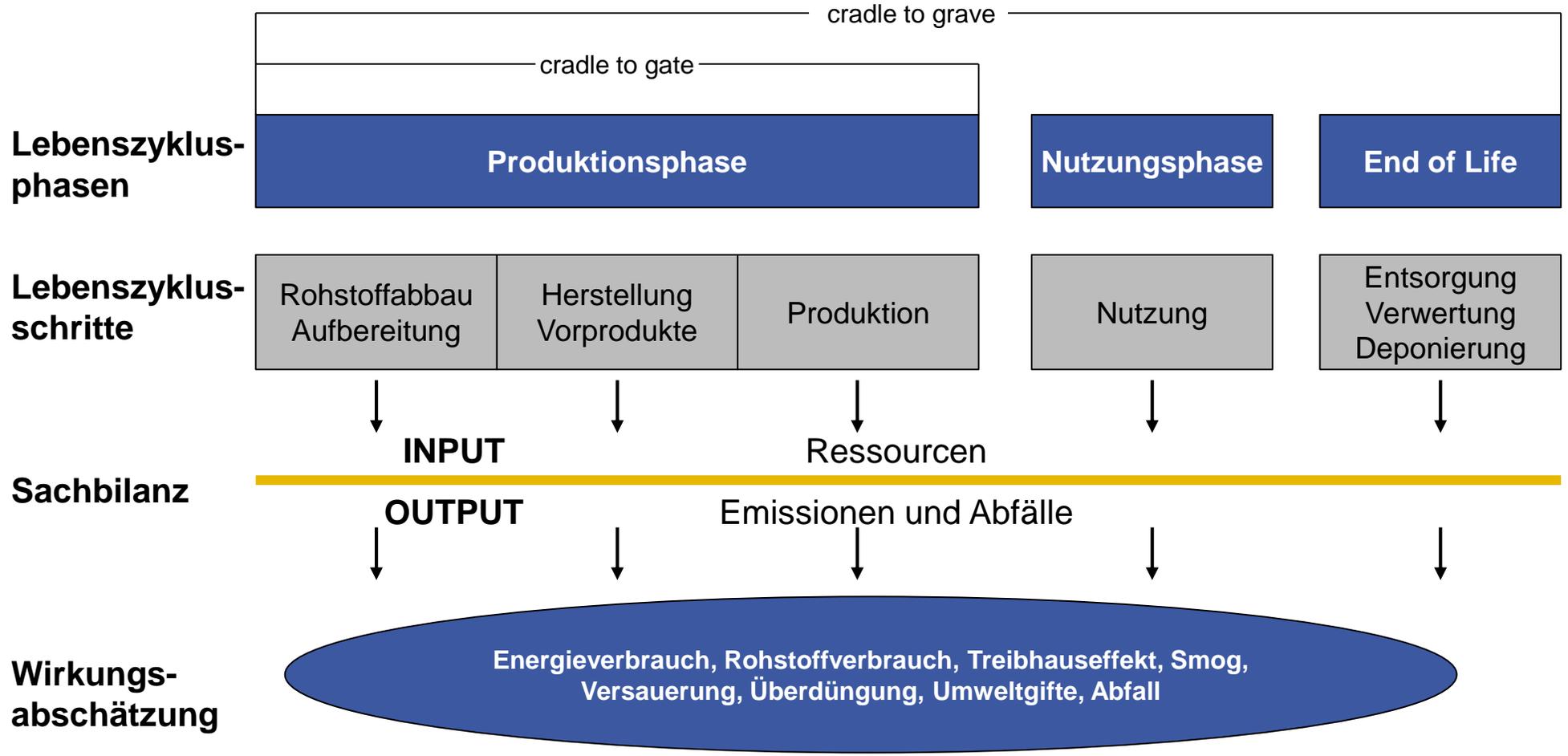
Wie lassen sich die Systemgrenzen bei der Erfassung eingrenzen?

Unter **Cradle to Grave** Ansatz versteht man alle Teilprozesse die zur Produktion, Vertrieb, Nutzung und Entsorgung an CO₂-Emissionen anfallen. Um den CO₂-Footprint für ein Produkt bestimmen zu können, müssen alle Emissionen die in den Lebenszyklusphasen angefallen sind bestimmt und anschließend summiert werden. Der sogenannte Carbon Footprint wird mittels einer CO₂-Bilanz, welche sich aus folgenden Schritten zusammensetzt, bestimmt.

- Festlegung der Bewertungsmethode
- Bestimmung der Systemgrenze
- Sammlung der Emissionsdaten
- Berechnung des CO₂-Footprints

Zur Bestimmung und Darstellung kann sich an das **Greenhouse Gas Protocol** oder an die ISO 14064 Norm orientiert werden.

Systemgrenzen der Erfassung



Carbon Accounting der Betriebs- und Entsorgungsphase



Der Gegenstand dieses Ergebnisbausteins ist die **Unterstützung des Kunden (Filteranwender)** bei seinem Carbon Management durch

- eine Zusammenstellung **wichtiger Kenngrößen zu den Emissionstreibern** in Abhängigkeit von den unternehmensspezifischen Prozessen,
- Anleitungen zum **direkten/indirekten Messen der Emissionen** und Zusammenstellung geeigneter Messinstrumente und Methoden, sowie durch
- Kalkulationsvorschriften für die **Berechnung von CO₂-Emissionen**.

Nachfolgend werden folgende Fragen zum Carbon Accounting des Betriebs und der Entsorgung geklärt:

- Welche Emissionstreiber sind für den Druckverlust bei der Filtration verantwortlich?
- Welche Möglichkeiten besitzt der Kunde den Druckverlust zu messen?
- Wie können die CO₂-Emissionen und Kosten dargestellt werden?

Wie werden die Emissionen erfasst?

Herausforderungen:

- Beurteilung **unterschiedlicher Filtertypen** (Koaleszenzfilter, Adsorptionsfilter, Partikelfilter)
- Einheitliche **Bestimmung des Druckverlusts** (in Abhängigkeit von der Betriebszeit)



- Anstieg des Druckverlusts mit zunehmender Abscheideeffizienz (Druckluftfilterklasse) der Filter

Lösungsansatz:

- Filter gleichen Typs und gleicher Abscheideleistung werden auf Basis des Energiebedarfs (Druckverlust im definierten Zustand) miteinander verglichen.
- Dadurch ist eine **indirekte Erfassung** der Emissionen möglich.

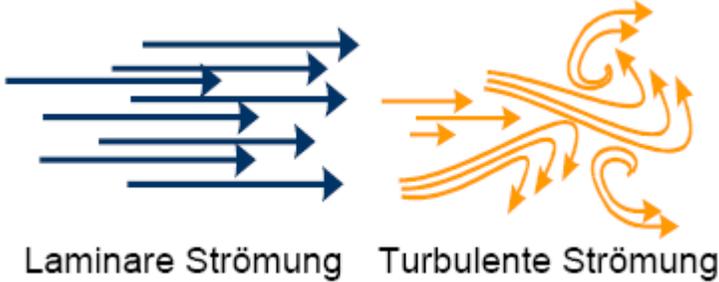
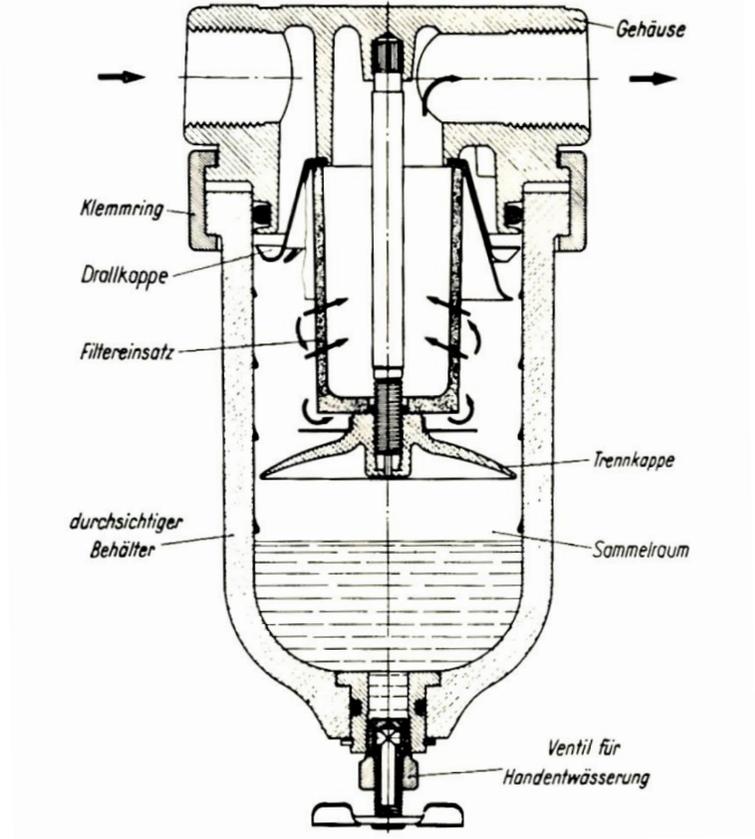
Emissionstreibern in der Nutzungsphase

- Durch Expertengespräche wurden Emissionstreiber des Filtergehäuses und des Filtermediums identifiziert, die alle zur Druckdifferenz beitragen.
- Die folgenden Emissionstreiber haben allein Gültigkeit für Partikelfilter.
- Problematisch: alle Emissionstreiber sind nicht auf dem Produktdatenblatt aktueller Filter ersichtlich!

Emissionstreiber des Filtergehäuses
Durchmesser des Druckluftanschlusses
Strömungswiderstand
Oberflächenrauigkeit
Gehäusegröße
Emissionstreiber des Filtermediums
Größe des Filterelements
Hohlraumvolumen
Physikalische Eigenschaften des Filtermediums
Aufbau des Filterelements

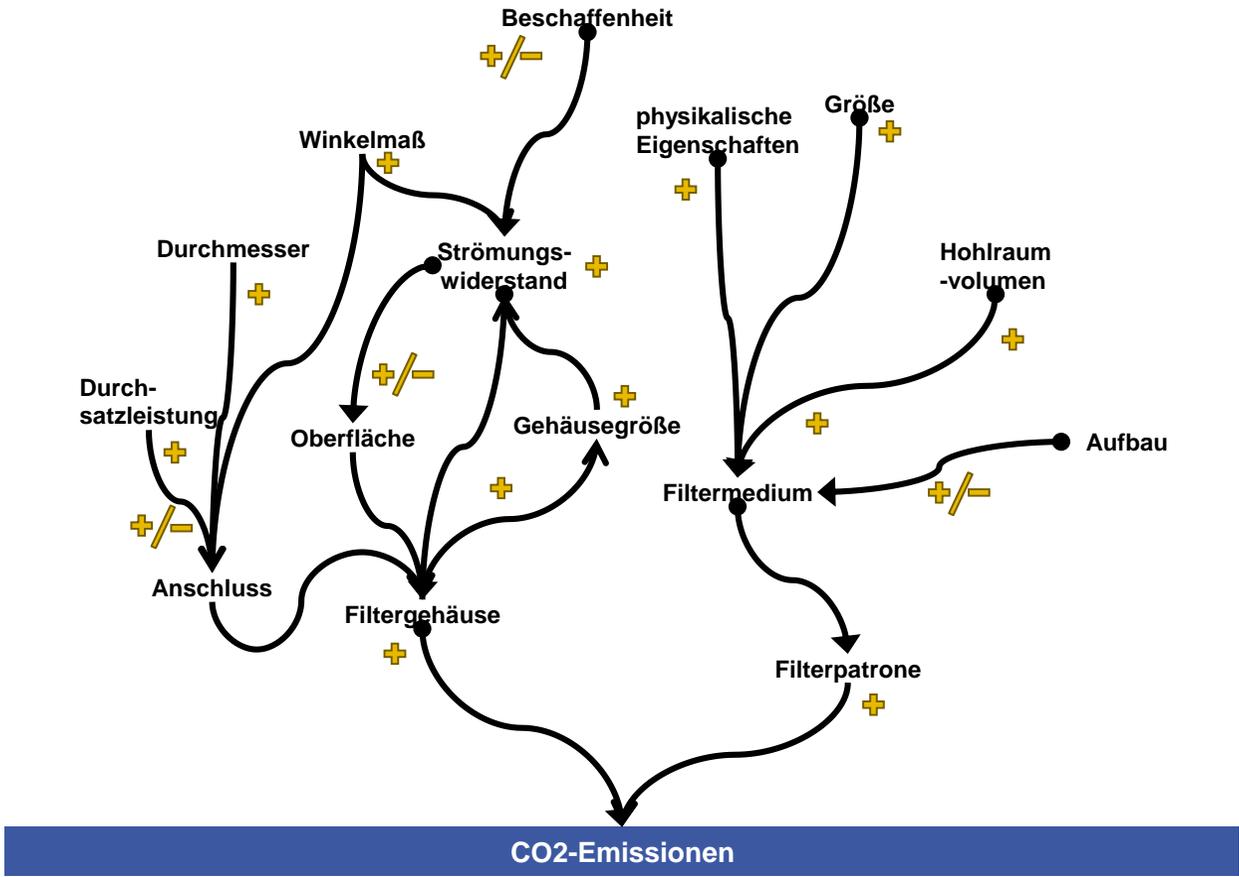
Wirkungszusammenhänge der Emissionstreiber

Das Schnittbild eines Druckluftfilters zeigt die unterschiedlichen Bestandteile (Filtergehäuse, Filtermedium). Das Hauptproblem bei allen Komponenten stellt die Strömungseigenschaft dar, hier wird zwischen laminarer und turbulenter Strömung unterschieden. Es gilt: Je turbulenter die Strömung, desto höher die Druckdifferenz.



Emissionstreiberbaum

Die Emissionstreiber wurden hinsichtlich ihrer gegenseitigen Abhängigkeiten und der Stärke der Korrelation mit den verursachten Emissionen analysiert. Der Baum visualisiert die jeweiligen Zusammenhänge zwischen den einzelnen Filterkomponenten.



Messmethoden und -instrumente aus Kundensicht

Der Druckluftanwender (Kunde) kann mittels direkter und indirekter Messmethoden CO₂-Emissionen messen. Jahrelang wurde eine Verbrauchserfassung bzw. das Druckluftmonitoring vernachlässigt. Obwohl schon Studien Anfang 2000 (z.B. Druckluft-Effizienz Kampagne) das Einsparpotenzial aufzeigten. Mit Hilfe dieser Methoden kann die Druckdifferenz des Filtermediums aus Kundensicht ermittelt werden.

Direkte Methoden:

- Messung direkt am Filter mittels Manometer

Indirekte Methoden:

- Messung über Stromverbrauch (Kompressor)

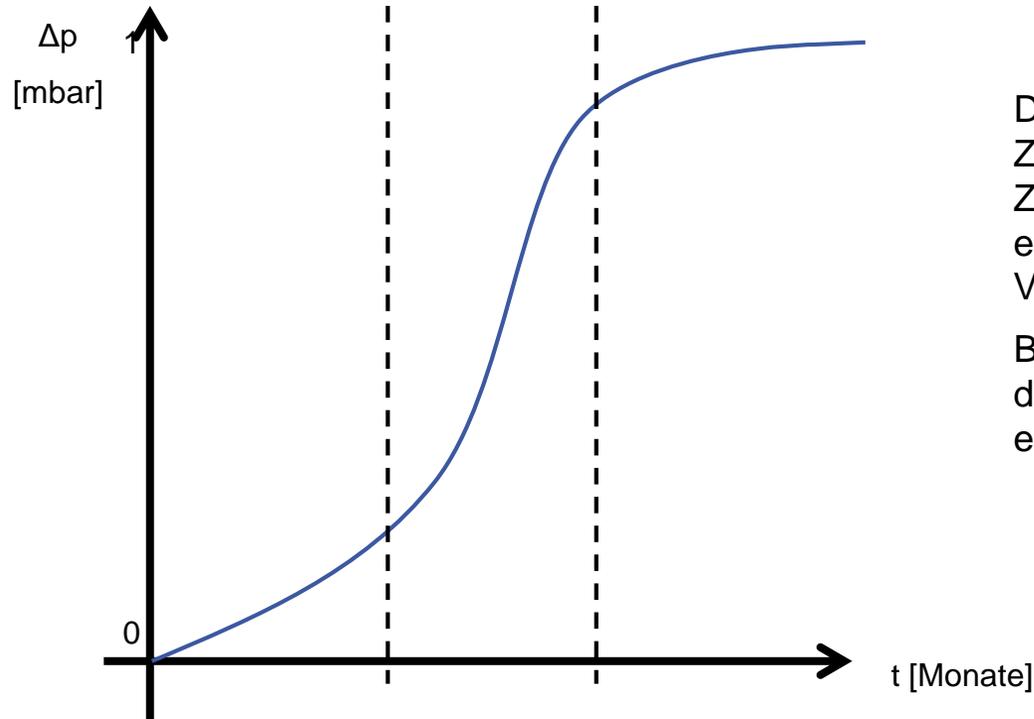
In beiden Fällen ist eine Umrechnung von Druck bzw. der Druckdifferenz in CO₂-Einheiten möglich.

Exemplarisch: Direkte Messung ergibt 400 mbar Druckdifferenz. Es handelt sich um eine „einfache“ Anlage (Kompressor 90kW, 1800 Betriebsstunden (Volllast) pro Jahr, Energiemix 570g/kWh, Betriebsdruck 7 bar)

400mbar / 7bar = 5,71% Druckverlust durch den Filter

Berechnung: $1800\text{h} * 90\text{kW} * 570\text{g/kWh} * \% \text{Druckverlust} = 5.272.614\text{g} = \underline{5,27\text{t CO}_2}$

Was wird gemessen?



Die blaue Kurve zeigt die relative Druckdifferenz im Zeitablauf (Idealverlauf), d.h. erst nach einer bestimmten Zeit wird die Druckdifferenz im gesättigten Zustand erreicht. Diese Druckdifferenz muss als Vergleichsmaßstab herangezogen werden.

Bei der direkten/indirekten Messung ist dies zu beachten, da sonst keine Vergleichbarkeit der Messergebnisse erzielbar ist.

Wie kann der Anwender Druckdifferenzen messen?

■ Direkte Messmethoden

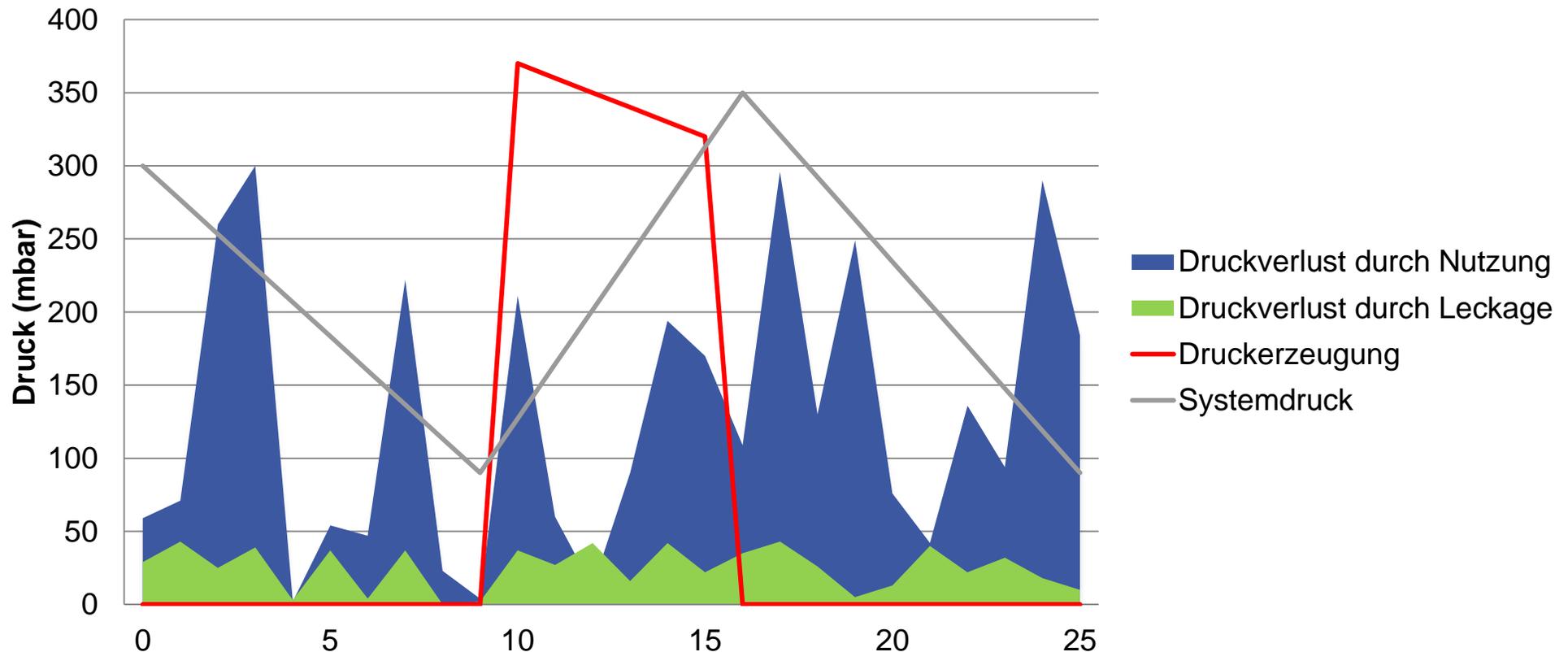
Lösung	Geeignet für	Beschreibung	Bemerkung
A	Anwender	Messung mit und ohne Filter mittels Manometer	Diese Methode eignet sich nicht , da in der Messphase die Anlage ungeschützt ist. D.h. Verunreinigung aus der Ansaugung und dem Leitungsnetz gelangen zum Verbraucher
B	Anwender	Messung mittels zweier Messstellen, vor und nach dem Filter	Akzeptable und günstige Möglichkeit den Differenzdruck zu ermitteln.
C	Anwender	Messung mittels Druckdifferenzmanometer direkt am Filter	Die beste Methode um den Differenzdruck zu mittels einmaliger Messung zu bestimmen. Jedoch verlangt dies eine hochpreisige Messtechnik.

Wie kann der Anwender Druckdifferenzen messen?

■ Indirekte Messmethoden

z.B. Lastprofil: zeichnet die Schaltvorgänge des Kompressors auf

Problem: Druckdifferenz ist zu gering um dies in den Daten zu sehen!



Wie kann der Anwender Druckdifferenzen messen?

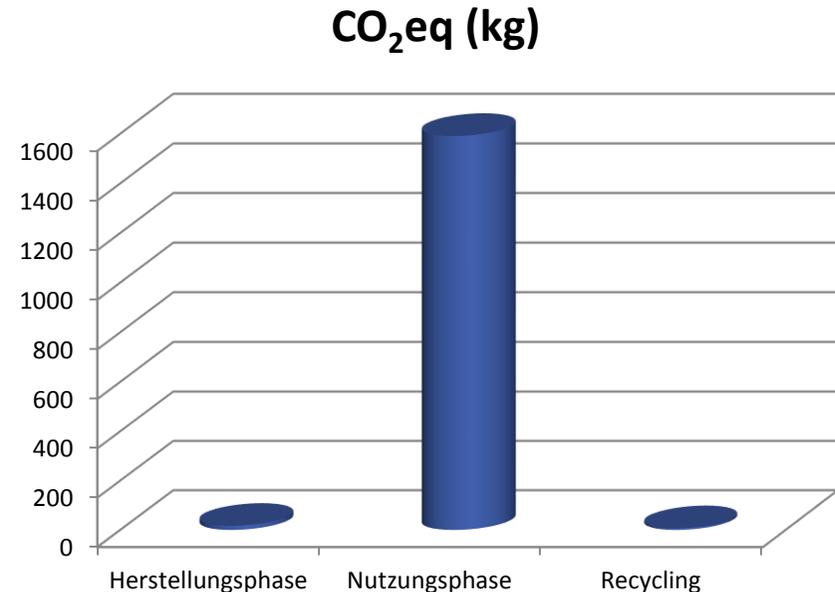
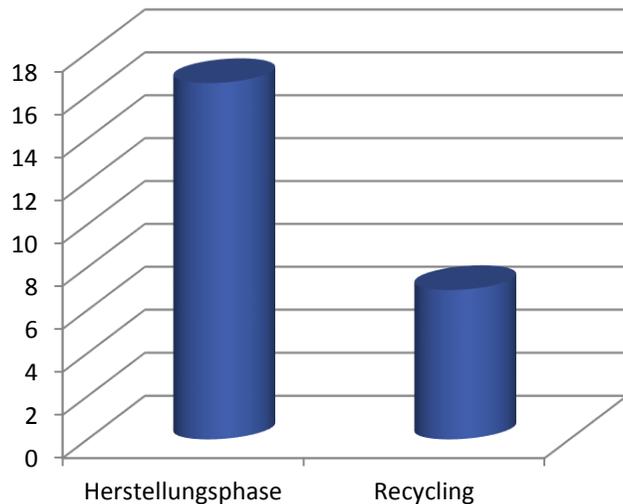
■ Indirekte Messmethoden

Aufzeichnung des Stromverbrauchs in einem vorher festgelegten Testzyklus (Entleeren der Anlage, anschließend Dauer der Anlagenfüllung messen). Die Prozedur für die Messung der Effizienz unterschiedlicher Filter muss über mehrere Monate durchgeführt werden (Messung nur im benetzten Zustand).

Problem: Messumstände (Temperatur, Leckagerate, Kompressorverschleiß, uvm.) können sich verändert haben. Wodurch keine aussagekräftigen Rückschlüsse auf die Druckdifferenz getätigt werden können.

Wie können aus den gemessenen Druckdifferenzen CO₂-Emissionen kalkuliert werden?

■ CO₂-Emissionen in den einzelnen Lebenszyklusphasen CO₂eq (kg)



Beide Diagramme zeigen die CO₂-Emissionen der einzelnen Lebensphasen:

Die Herstellungsphase ist charakterisiert durch den Rohstoffeinsatz. Die Recyclingphase ist ebenso durch die Wiederverwertung der einzelnen Stoffe bestimmt. Jedoch lassen sich beide Phasen im Vergleich zur Nutzungsphase vernachlässigen. Die Nutzungsphase ist ausschließlich über die Druckdifferenz (Auswirkung auf den Stromverbrauch des Kompressors) im Betrachtungszeitraum (1 Jahr) bestimmt worden.

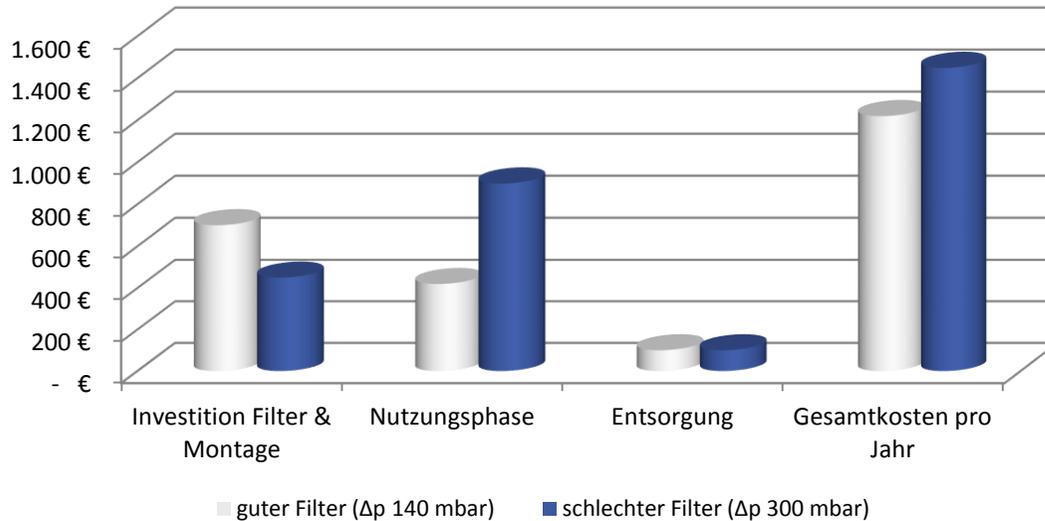
Wie können CO₂-Emissionen kalkuliert werden?

Man benötigt zur Bestimmung der CO₂-Emissionen in den einzelnen Phasen unterschiedliche Größen:

	Größe	Bestimmung
Herstellung	Rohstoffeinsatz, Produktionsemissionen, Transport	Umweltdatenbanken wie z.B. ProBas liefern CO ₂ -Emissionen, jedoch nur bei genauer Inputangabe (schwierig in der Praxis, mangelnde Datenverfügbarkeit)
Nutzung	Energieverbrauch	Stromzusammenstellung, Daten über den Kompressor, Druckdifferenz muss bekannt sein
Recycling	Rohstoffe, Entsorgung	Umweltdatenbanken wie z.B. ProBas liefern CO ₂ -Emissionen, jedoch nur bei genauer Inputangabe (schwierig in der Praxis, mangelnde Datenverfügbarkeit)

Beispielhafte Kalkulation von CO₂-Emissionen

■ Kosten in den einzelnen Lebenszyklusphasen



Das Diagramm stellt beispielhaft die einzelnen Phasen im Unternehmen dar, bestehend aus dem Kauf und der Montage, der anschließenden Nutzung, gefolgt von der Entsorgung.

Ein guter Filter ist gekennzeichnet durch eine geringere Druckdifferenz, ein schlechter weist folglich eine höhere Druckdifferenz auf.

Die Gegenüberstellung zeigt, dass ein guter Filter trotz höherer Investition geringere Gesamtkosten als ein schlechter Filter aufweist. Zudem ist die CO₂-Belastung geringer.

	guter Filter (Δp 140 mbar)	schlechter Filter (Δp 300 mbar)
Investition Filter & Montage	700€	450€
Nutzungsphase	419€	899€
Entsorgung	100€	100€
Gesamtkosten pro Jahr	1.219€	1.449€
CO₂-LCA	1614,26 kg CO₂/Jahr	3432,23 kg CO₂/Jahr

Das Carbon Accounting umfasst drei Schritte :

1. Erfassung der Emissionen (Messsysteme, Berechnungsmethoden)
2. **Aufbereitung der Emissionsdaten in Kennzahlen**
3. Kennzahlen-Vergleiche

Wie müssen die Kennzahlen aufbereitet sein?

1 Vorschläge erarbeiten

2 Messgrößen auswählen

3 Implementierung sicherstellen

1. Vorschläge erarbeiten

Grundsätze

- Grundsätzlich lässt sich jedes Ziel messen
- Ziele müssen klar definiert und verstanden werden
- Es muss festgestellt werden, aus welchen Perspektiven das Ziel gemessen werden kann.

Perspektive der Kennzahlen am Beispiel „CO₂-Einsparung“

Eingang

- Was fließt in ein System (z.B. Unternehmen, Unternehmens-bereich, Mitarbeiter) ein?
- **Bsp.:**
Anzahl der CO₂-senkenden Maßnahmen

Prozess

- Wie wird der Input verarbeitet und genutzt?
- **Bsp.:**
Wie hoch ist die durchschnittliche Einsparung je Maßnahme

Ergebnis

- Was ist das Ergebnis der Verarbeitung des Inputs
- Ursache-Wirkungs-Beziehung dabei nicht immer
- **Bsp.:**
CO₂-Bilanz

2. Messgröße auswählen

Grundsätze

- Komplexität gering halten
- Maximal drei Messgrößen pro strategischem Ziel
- Idealerweise gibt es pro strategischem Ziel eine Messgröße

Anforderungen

- **Validität** (Wird der Sachverhalt, den die Kennzahl messen soll auch erfasst?)
- **Objektivität** (Ist die Kennzahl für Dritte eindeutig verständlich?)
- **Reliabilität** (Wie zuverlässig ist die Messung?)
- **Beeinflussbarkeit** (Kann die Kennzahl überhaupt beeinflusst werden?)
- **Manipulationsfreiheit** (Kann die Kennzahl nur so beeinflusst werden, dass es für Dritte nachvollziehbar ist?)
- **Wirtschaftlichkeit** (Übertrifft der Nutzen, die mit der Messung im Zusammenhang stehenden Kosten?)

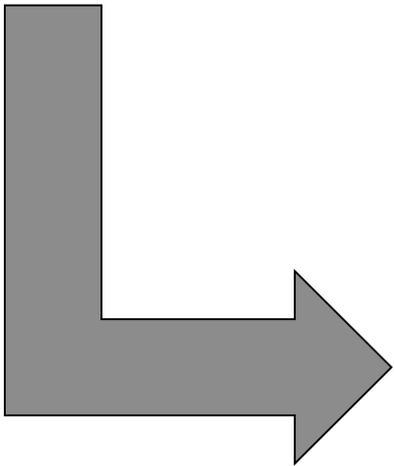
3. Implementierung der Messgrößen

Implementierungs- kriterien

- Vorhandensein der Messgröße
- Akzeptanz der Messgröße
- Formalisierungsmöglichkeit der Messgröße
- Festlegung der Frequenz, in der Messgröße erhoben werden soll
- Integrierbarkeit der Messgrößen in das bestehende Reportingsystem

Kategorisierung der Kennzahlen

Analysekennzahlen	Steuerungskennzahlen
<ul style="list-style-type: none"> ■ Informationsaufgabe ■ Analyse der Emissionssituation ■ Identifikation von Problemfeldern ■ Grundlage der Strategieentwicklung 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Kennzahlen zur Operationalisierung der strategischen Emissionsziele ■ Grundlage zur Strategieumsetzung



Bezeichnung	Berechnung der Emissionen
Zeitraumbezogene Kennzahlen	CO ₂ der Periode
Stückbezogene Kennzahlen	CO ₂ der Periode / Produktionsmenge
Unternehmensbereichskennzahlen	CO ₂ der Periode / CO ₂ im Bereich
Umsatzbezogene Kennzahlen	CO ₂ der Periode / Umsatz

Wie kann der Hersteller Informationen dem Kunden bereitstellen?

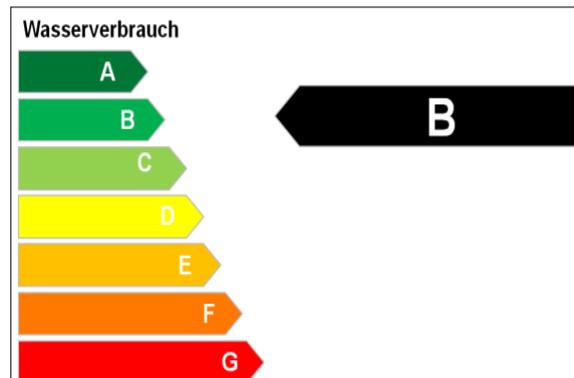
Aufbau Produktinformationsblatt:

- herstellerspezifische Produktdaten
- Öko-Label

Definition Öko-Label:

grafisch aufbereitete, produktbegleitende Informationen über ökologische Eigenschaften eines Produktes, ausgewiesen in Form von Klassen.

Das Ökolabeling geschieht z.B. mittels der ISO Normenreihe ISO 14000. ISO 14021 gibt die Rahmenbedingungen für Umweltaussagen vor (aus Herstellersicht), diese werden als Typ II Umweltzeichen bezeichnet. Typ I und III Umweltzeichen werden durch Dritte vergeben. Sie ermitteln die Kriterien über den gesamten Lebenszyklus hinweg. Typ I Umweltzeichen treffen aussagen, dass Produkte hinsichtlich der betrachteten Umwelteigenschaften qualitativ besser sind (ISO 14024), Typ III Umweltzeichen hingegen treffen quantitative Aussagen auf Basis von Umweltdeklarationen (ISO 14025).



1

Vergleichbarkeit funktionsadäquater Produkte bezüglich relevanter Umweltcharakteristika

→ Überwindung asymmetrischer Informationsverteilung

2

Erweiterung der **Kundenkaufkriterien**

→ Möglichkeit der Differenzierung vom Wettbewerb

3

Mehrwert für Kunden

→ Erhöhung der Zahlungsbereitschaft und Nachfrage

Bestimmung des Druckverlusts in Abhängigkeit des jeweiligen Filtertyps

Ziel: Transparenz des Bewertungsverfahrens und hohe Reproduzierbarkeit der Messergebnisse

	Koaleszenzfilter	Adsorptionsfilter	Partikelfilter
Filterzustand	nass, gesättigt	trocken	trocken, unbestaubt
Testsubstanz	Öl, Viskositätsklasse 46	Toluol	AC fine
Testkonzentration	10 mg/m ³	10 ppm	100 mg/m ³
Kennzahlen für Standzeit	-	Beladungskapazität K80	Standzeit bis 100 % Druckanstieg

Bewertungsschablone* zur Einordnung in Label-Klassen:

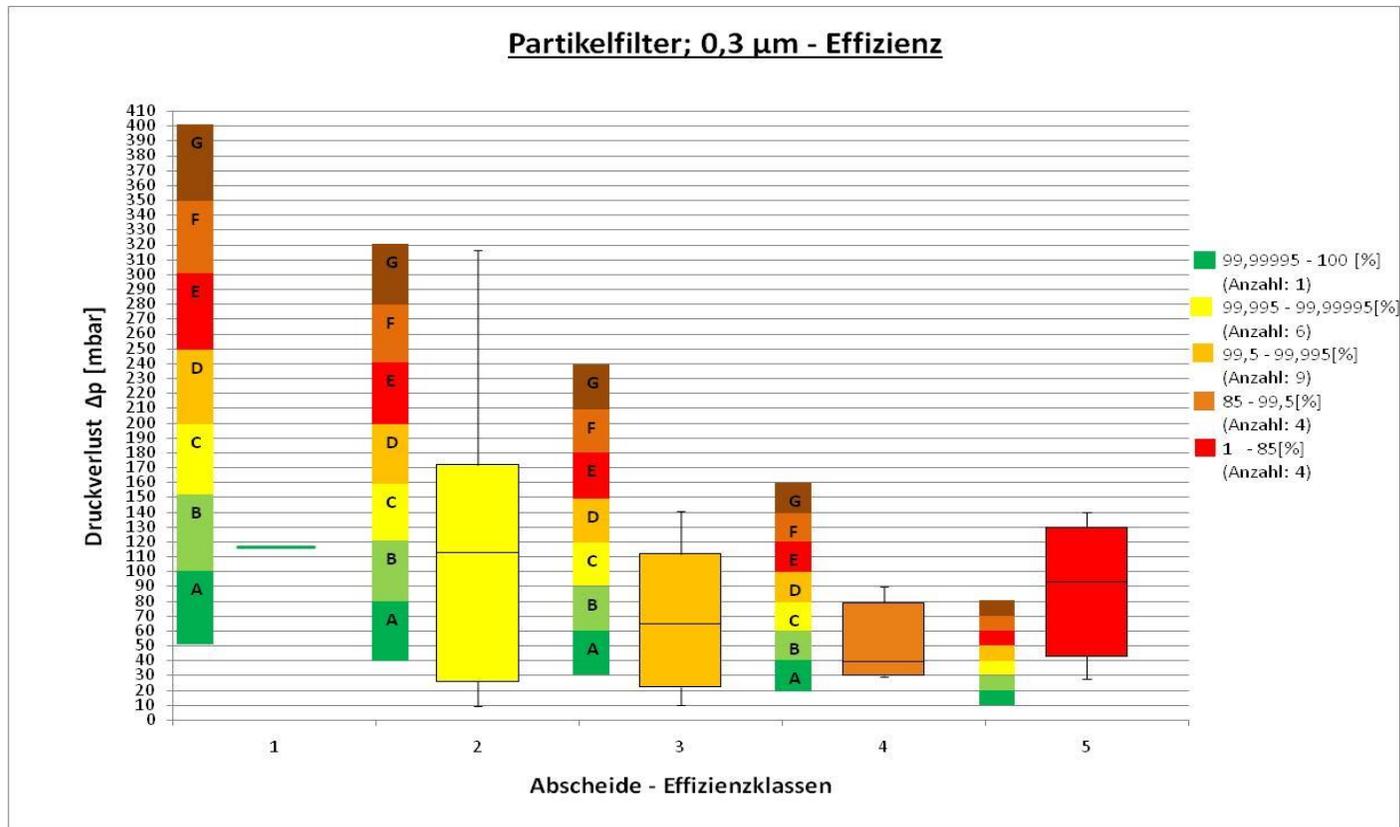
Druckluftfilterklasse	1	2	3	4	5
Mindestabscheidegrad	99,9 %	99,0 %	90,0 %	50 %	< 50 %
CO₂-Effizienzklassen	Druckverlustbereich im gesättigten Zustand [mbar]				
A	0-100	0-80	0-60	0-40	0-20
B	100-150	80-120	60-90	40-60	20-40
C	150-200	120-160	90-120	60-80	40-60
D	200-250	160-200	120-150	80-100	60-80
E	250-300	200-240	150-180	100-120	80-100
F	300-350	240-280	180-210	120-140	100-120
G	350-400	280-320	210-240	140-160	120-140

*beispielhaft für Koaleszenzfilter dargestellt

Ökologische Bewertung der Druckdifferenz

Dieser Boxplot zeigt die Klasseneinteilung für Partikelfilter mit einer 0,3µm Abscheideleistung. Auf der horizontalen Achse sind 5 Effizienzklassen abgetragen, Klasse 1 ist gekennzeichnet durch eine Abscheidung von >99,99995% der Partikel, hingegen besitzt Klasse 5 nur eine Abscheideleistung <85%.

Das Farbschema zeigt das Ökolabel, anhand des Druckverlusts (y-Achse) findet die Einordnung der einzelnen Klassen statt.



Beispielhafte Produktinformationsblätter

Produktinformationsblatt



Filtertyp: Koaleszenzfilter
 Bezugsjahr: 2015

Marke: Mustermann GmbH
 Modell: Mustermodell
 Material: Gehäuse aus eloxiertem, seewasserbeständigen Aluminium
 Filtermedium aus bindemittelfreien Borsilikat- und Polyesterfasern

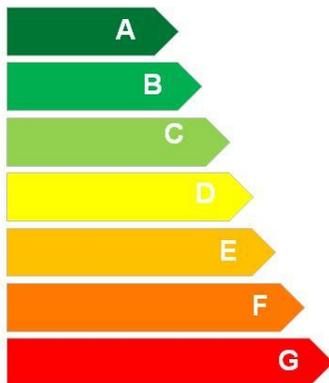
Testparameter:

Nennvolumenstrom: 150 m³/h
 Nenndruck: 7 bar
 Temperatur: 20 °C
 relative Feuchte: 3 %
 Testkonzentration: 10 mg/m³
 Testsubstanz: Öl, Viskositätsklasse 46

Testresultat:

Mindestabscheidegrad: 99,9 % Klasse 4
 Druckverlust gesättigt: 120 mbar

CO₂-Effizienzklasse



Druckverlust 120 mbar

Produktinformationsblatt



Filtertyp: Adsorptionsfilter
 Bezugsjahr: 2015

Marke: Mustermann GmbH
 Modell: Mustermodell
 Material: Gehäuse aus eloxiertem, seewasserbeständigen Aluminium
 Filtermedium aus Aktivkohle

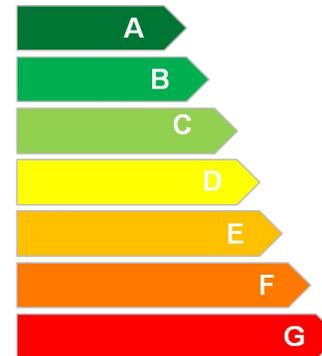
Testparameter:

Nennvolumenstrom: 150 m³/h
 Nenndruck: 7 bar
 Temperatur: 20 °C
 relative Feuchte: 3 %
 Testkonzentration: 10 ppm
 Testsubstanz: Toluol

Testresultat:

Beladungskapazität K80: 15 % Klasse 2
 Sofordurchbruch: 2 %
 Druckverlust: 80 mbar

CO₂-Effizienzklasse



Druckverlust 80 mbar

Carbon Accounting

Das Carbon Accounting umfasst drei Schritte :

1. Erfassung der Emissionen (Messsysteme, Berechnungsmethoden)
2. Aufbereitung der Emissionsdaten in Kennzahlen
3. **Kennzahlen-Vergleiche**

Kennzahlen-Vergleich mittels Benchmarking

Im Fokus stehen die Benchmarking-Aktivitäten „Vorbereitung“, „Analyse“, „Vergleich“ und „Verbesserung“.

Ziel ist es, einerseits aus **Herstellersicht** die Produkte zu identifizieren, welche sowohl aus ökologischer (CO₂-Emissionen) als auch aus ökonomischer Sicht (Lebenszykluskosten) „best in class“ sind, um so Verbesserungspotenziale für das eigene Produkt zu identifizieren.

Aus **Kundensicht** ist es das Ziel, die Kaufentscheidung so rational wie möglich auf der Grundlage von Vergleichs-Daten zu gestalten.

■ Phase 1:

- Druckluftfilter
- Druckdifferenz
- Konkurrenzunternehmen
- Produktdatenblätter

■ Phase 2:

- Druckverlust-Reduktionsmöglichkeit
- Maßnahmen

$$\text{Reduktionspotential } \Delta p = \frac{\Delta p_{\text{Druckluftfilter}} - \Delta p_{\text{Benchmark}}}{\Delta p_{\text{Druckluftfilter}}} * 100$$

■ Phase 3:

- Vorgabe von Entwicklungspfade für die Leistungsbeurteilungsgrößen
- Ständig überprüfen

Vorbereitung des Benchmarkings mittels Demonstrator

Phase 1: Vorbereitung des Benchmarkings

Filtertyp

Partikelfilter	<input type="checkbox"/>
Koaleszenzfilter	<input checked="" type="checkbox"/>
Absorptionsfilter	<input type="checkbox"/>

Filterklasse

Klasse	Abscheidegrad (min.) [%]	
1	99,9	<input type="checkbox"/>
2	99	<input type="checkbox"/>
3	90	<input checked="" type="checkbox"/>
4	50	<input type="checkbox"/>
5	<50	<input type="checkbox"/>

Leistungsbeurteilungsgröße

Angabe des Druckverlust im **nassen, gesättigten Zustand**

Druckverlust mbar

Wahl des Benchmarks

konkurrenzbezogenes Benchmark	<input checked="" type="checkbox"/>
branchenbezogenes Benchmark	<input type="checkbox"/>
eigenes Benchmark	<input type="checkbox"/>

In der ersten Phase, wird der Filtertyp ausgewählt sowie die dazugehörige Filterklasse. Anschließend muss der Druckverlust in mbar angegeben werden.

Im unteren Abschnitt wird dann die Art des Benchmarks gewählt:

- Konkurrenzbezogener Benchmark
- Branchenbezogener Benchmark
- Eigener Benchmark

Benchmarking-Analyse

Phase 2: Analyse

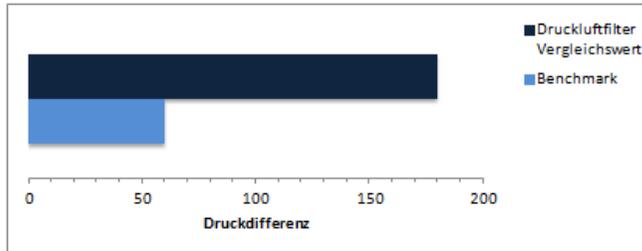
Identifikation der Leistungslücke

Bei Wahl eines **eigenen Benchmarks** bitte Benchmark eingeben: mbar

verwendeter Benchmark mbar

Vergleichswert mbar

Leistungslücke/Einsparpotential %



zurück

Handlungs-
maßnahmen

Die Analyse identifiziert die jeweilige Leistungslücke, die den eigenen Filter in Relation zur jeweiligen Auswahl graphisch vergleicht.

Die letzte Phase zeigt verschiedene Ursachen sowie Maßnahmen zum Gegensteuern auf.

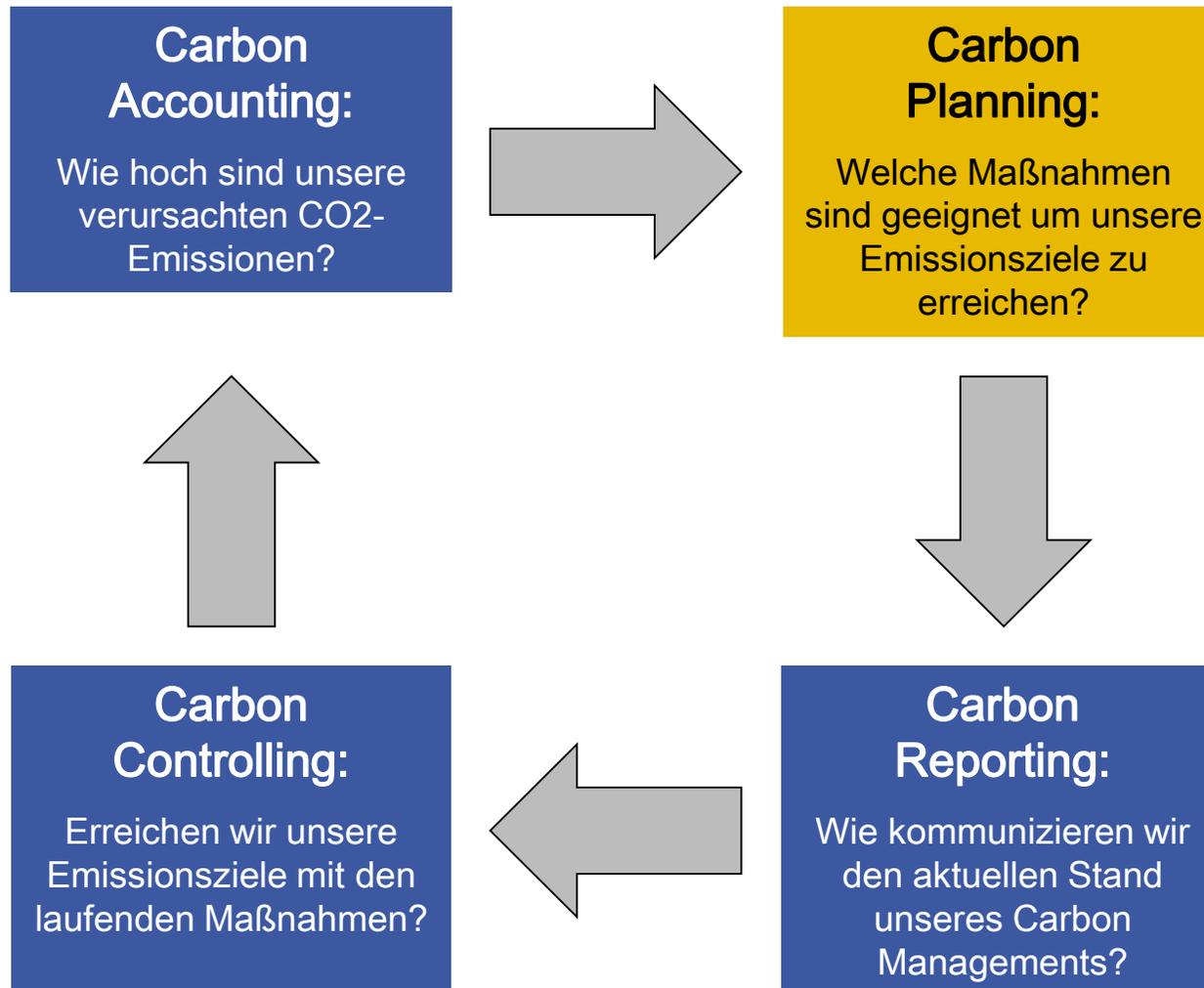
Phase 3: Umsetzen

komponentenbezogene Maßnahmen:

Katalog an Handlungsmaßnahmen bei einer komponentenbedingten Ursache der Leistungslücke

Komponente	mögliche Ursache der Leistungslücke	Maßnahme
Filterelement	zu geringe Oberfläche	Einsatz eines plissierten Filtermediums Erhöhung der Anzahl an Filterlagen
	Verstopfung	Auswechseln des Filterelements
	Qualität des Materials	Austausch des Filtermediums (High-tech Materialien)
	Ungeeignete Strömungsverteilung	Einsatz eines neuen Filterelements
Gehäuse	Größe des Querschnitt zu gering für ideale Filterfläche	Ersatz des Gehäuses

Carbon Managementzyklus



Carbon Planning – Grundlagen

Planung ist ein wesentlicher Bestandteil jeder Managementkonzeption. Die Planung ermöglicht es zukünftige Entscheidungs- und Handlungsspielräume einzugrenzen und zu strukturieren (vgl. Szyperski/Mußhoff 1989). Carbon Planning bezieht sich dabei auf die Menge der verursachten CO₂-Emissionen eines Unternehmens und die Aktivitäten, um diese zu vermindern und zu vermeiden. Folgenden Aspekte charakterisieren das Carbon Planning (vgl. Burr 2005):

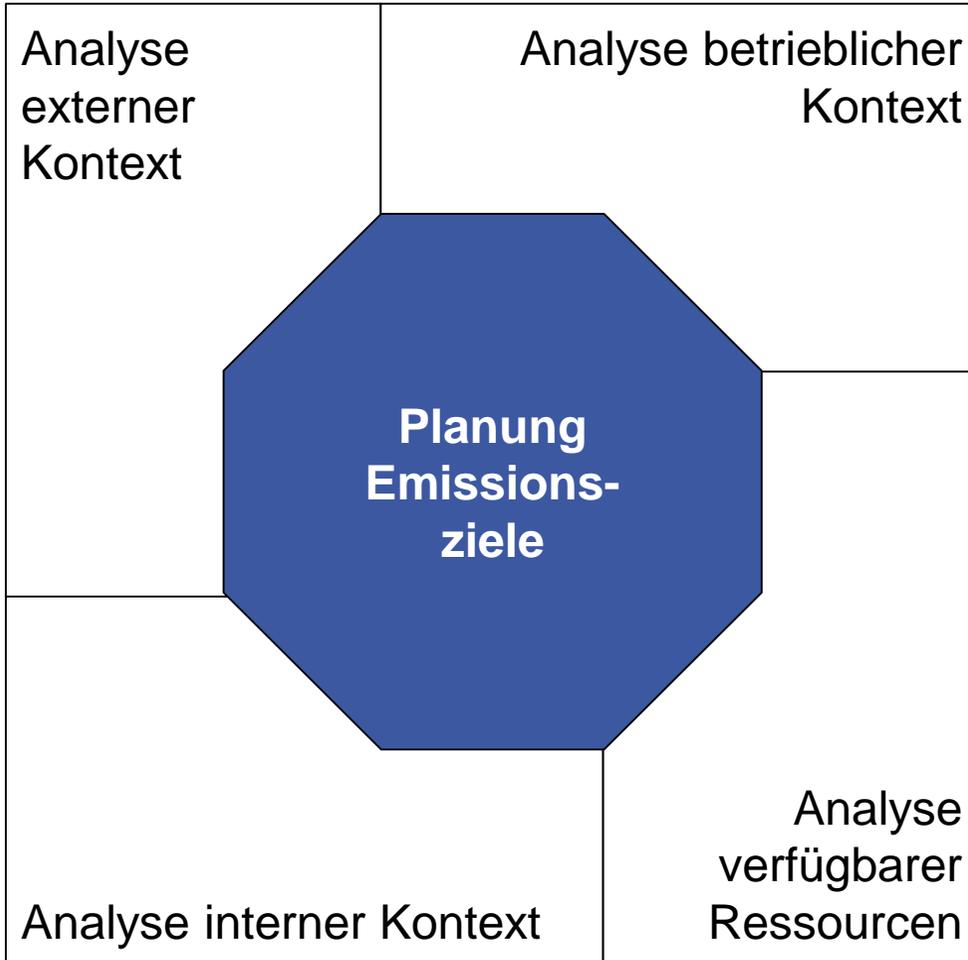
- Zukunftsbezug, d.h. im Fokus stehen die Erfassung und Lösung aktueller und künftiger Herausforderungen hinsichtlich der verursachten Emissionen;
- Ordnung, d.h. durch die Planung werden Vorentscheidungen hinsichtlich der Emissionssenkung getroffen;
- Informationsverarbeitung, d.h. grundlegend für die Planung sind umfängliche Informationen, die mittels Carbon Accounting erhoben werden;
- Prozess, d.h. der Carbon Planning-Prozess selbst ist Gegenstand der Planung.

Carbon Planning – wie lassen sich Ziele ableiten?

Der Gegenstand des Carbon Planning sind Emissionsziele. Diese bilden zusammen mit Zielen hinsichtlich des Ressourcenschutzes und Zielen hinsichtlich der Risikobegrenzung einen Teil der ökologischen Unternehmensziele (Dyllick 1990). Entscheidend für die Planung von Emissionszielen ist damit deren Berücksichtigung innerhalb des Umwelt- oder Nachhaltigkeitsmanagements.

Ziele beschreiben, die von der Unternehmung zukünftig erstrebten Zustände und können entweder von den Anspruchsgruppen des Unternehmens (Kunden, Mitarbeiter, Eigentümer, usw.) übernommen oder innerhalb des Unternehmens durch Konsensbildung geplant werden. Die Emissionsziele können dabei sowohl für das gesamte Unternehmen als auch für die verschiedenen Emissionsträger (Unternehmensbereiche, Produkte, usw.) geplant werden. Im Mittelpunkt steht damit nicht nur ein einzelnes unternehmensweit gültiges Emissionsziel, sondern der Aufbau eines Zielsystems, anhand der sich sowohl das langfristige (strategische) als auch das kurzfristige (operative) Handeln orientieren kann.

Planung von Emissionszielen



Die Planung der Emissionsziele basiert auf der Analyse verschiedener Inputgrößen (vgl. Epstein/Buhovac 2014). Diese umfassen den externen Kontext, den betrieblichen Kontext, den internen Kontext sowie die verfügbaren Ressourcen.

Der **externe Kontext** beschreibt einerseits die regulatorischen Vorgaben, durch die die Emissionsverursachung des Unternehmens determiniert wird. So ergeben sich allein auf Bundesebene über 200 Rechtsvorschriften und Anordnungen, die die Umweltgesetzgebung beschreiben. Andererseits fasst der externe Kontext auch die Besonderheiten des jeweiligen Marktes zusammen, auf dem das Unternehmen tätig ist. So zeichnet sich der deutsche Markt beispielsweise dadurch aus, dass Konsumenten auf Produkt-Kennzeichnungen fokussiert sind (vgl. Longsworth et al. 2011). Die Auszeichnung der verursachten CO₂-Emissionen mittels Öko-Labeln gehört damit für deutsche Unternehmen zu den wichtigen Produkteigenschaften.

Planung von Emissionszielen

Der **betriebliche Kontext** beschreibt die Branchenspezifika hinsichtlich des Umgangs mit CO₂-Emissionen. Folgende Fragen sind dort beispielsweise zu beantworten:

- Welche branchenspezifischen Vorgaben hinsichtlich der verursachten CO₂-Emissionen sind zu berücksichtigen?
- Als Beispiel sei der Ausweis der CO₂-Emissionen bei Neu-Fahrzeugen in der Automobilindustrie und den damit verbundenen Anforderungen an die CO₂-Erfassung genannt.
- Welche Bedeutung haben CO₂-Emissionen für die betrachtete Branche?
- Beispiele sind hier die Logistikbranche (hohe Bedeutung) versus verschiedene Konsumgüterbranchen wie die Spielwarenindustrie (geringe Bedeutung), in denen dafür andere Umweltwirkungen wie der Materialverbrauch im Fokus stehen.
- Welche branchenspezifischen Anspruchsgruppen stellen welche Anforderungen hinsichtlich der CO₂-Emissionen?
- Beispiele bieten hier zahlreiche Umwelt- und Verbraucherschutzverbände, die häufig konkrete Anforderungen an die Umweltbelastungen von Unternehmen einer Branche stellen.

Planung von Emissionszielen

Der Bereich **interner Kontext** umfasst alle vorhandenen Strategien, Strukturen und Systeme des Carbon Managements in Unternehmen. Beispiele bieten bereits implementierte Programme zur Senkung der CO₂-Emissionen sowie ein regelmäßig erstellter Nachhaltigkeitsbericht, in dem die CO₂-Emissionen ausgewiesen sind.

Im Bereich der **internen Ressourcen** stellen sich insbesondere Fragen der finanziellen Ressourcen, um Programme zur Senkung der CO₂-Emissionen zu implementieren sowie bezüglich der speziellen Ausbildung von Mitarbeitern in allen Unternehmensbereichen.

Eine Auswertung der beschriebenen Rahmenbedingungen bildet die Grundlage für die Entwicklung der Emissionsziele. Darüber hinaus ist die Sicht auf diese Inputgrößen in regelmäßigen Abständen (z. B. halbjährlich) zu aktualisieren, um Einflüsse auf die Emissionsziele frühzeitig erkennen zu können.

Planung von Emissionszielen

Das Vorgehen zur Planung von Emissionszielen im Sinne einer CO₂-Strategie orientiert sich an dem durch IPRI entwickelten Vorgehen zur Entwicklung einer Umweltstrategie (vgl. Berlin et al. 2014) und gliedert sich in fünf Schritte. Die Entwicklung selbst erfolgt idealerweise innerhalb mehrerer Workshops unter Beteiligung der Geschäftsführung.

Vorgehen zur Entwicklung einer Umweltstrategie in 5 Schritten:

1. Bestimmung der Planungsgrundlagen
2. Identifikation der Anforderungen interner und externen Anspruchsgruppen
3. Ableitung der Emissionsziele
4. Allokation der Emissionsziele (optional)
5. Störfaktoren beseitigen

Bestimmung der Planungsgrundlagen

Im **ersten Schritt** gilt es die Planungsgrundlagen zu bestimmen. Dazu zählt einerseits die Schaffung eines einheitlichen Wissensstandes hinsichtlich der Ursachen und Konsequenzen der durch das Unternehmen verursachten CO₂-Emissionen. Zum anderen gehört dazu den Betrachtungsbereich (Scope) zu definieren, für den die Zielentwicklung erfolgen soll. Dabei kann sowohl zwischen den unmittelbar durch das Unternehmen verursachten Emissionen (Scope 1 und Scope 2) sowie den in der Wertschöpfungskette verursachten Scope 3-Emissionen unterschieden werden. Weitere Unterscheidungen betreffen beispielsweise die einzubeziehenden Unternehmensbereiche (z.B. Kernprozesse/ -produkte vs. alle Prozesse/Produkte, einzelne Standorte vs. alle Standorte, usw.). Am Ende dieses Schrittes sollte bei allen Beteiligten ein einheitliches Verständnis hinsichtlich des Rahmens bzw. des Fokus der Zielentwicklung vorhanden sein.

Identifikation der Anforderungen interner und externer Anspruchsgruppen

Im **zweiten Schritt** erfolgt die Identifikation der **Anforderungen interner und externer Anspruchsgruppen** des Unternehmens. Wie in der Einleitung deutlich wurde, basiert eine ökologieorientierte Unternehmensausrichtung, in deren Rahmen die Entwicklung einer CO₂-Strategie erfolgt, auf der „ökologischen Transformation“ von Anforderungen verschiedener Anspruchsgruppen. Zunächst sind daher die wichtigsten Anspruchsgruppen hinsichtlich der Emissionsziele des Unternehmens zu identifizieren. In Frage kommen beispielsweise die Kunden, Mitarbeiter, Kooperationspartner, usw.. Durch Brainstorming werden zunächst alle Anspruchsgruppen identifiziert, die spezifische Anforderungen an das Unternehmen stellen. Im Anschluss sind diese zu priorisieren. Nur die wichtigsten Anspruchsgruppen sollten aus Komplexitätsgründen weiter betrachtet werden.

Sind die wichtigsten Anspruchsgruppen identifiziert, sind deren Ansprüche zu sammeln. Der Fokus liegt dabei insbesondere auf den langfristigen Anforderungen, die in einem Zeitraum von drei bis fünf Jahren relevant sind. So könnten z. B. Großkunden mit der Forderung eines Carbon Footprints für die in Anspruch genommenen Leistungen an das Unternehmen herantreten. Das Ziel ist es die potenziellen Ansprüche möglichst umfassend zu sammeln. Methodisch eignet sich dafür ein gemeinsames Brainstorming.

Identifikation der Anforderungen interner und externer Anspruchsgruppen

Letztlich sind die Anforderungen der wichtigsten Anspruchsgruppen zu bewerten, um die strategisch wichtigen Anforderungen zu identifizieren. Das Vorgehen ist zweistufig: Zunächst werden die bereits identifizierten Ansprüche auf Grundlage der Unternehmensstrategie, der definierten Planungsgrundlagen und der bereits durchgeführten Programme bewertet. Die auf dieser Grundlage vorselektierten Themen werden durch ein Bewertungsschema („strategischer Filter“) weiter fokussiert. Die relevanten Bewertungsdimensionen sind „Bedeutung für Stakeholder“ und „wirtschaftliche Bedeutung/Handlungsbedarf“. Eine hohe Bedeutung für Stakeholder ergibt sich entweder aus Chancen, wie der Differenzierung gegenüber Wettbewerbern oder aus Risiken wie dem Abwandern von Kunden bei fehlender Umsetzung bestimmter Nachhaltigkeits-Themen. Können die Chancen oder Risiken wirtschaftlich in den nächsten fünf Jahren genutzt werden, dann ergibt sich daraus eine hohe wirtschaftliche Bedeutung.

Die Bedeutung der Themen bezieht sich dabei auf die nächsten drei bis fünf Jahre. Themen, die nach beiden Kriterien hohe Bedeutung haben, sind strategisch relevant und werden weiter verfolgt.

Ableitung der Emissionsziele

In Schritt drei werden die Emissionsziele abgeleitet. Den Ausgangspunkt bilden die strategischen Themen. Aus diesen werden die Emissionsziele formuliert. Diese müssen sich nicht ausschließlich auf die Höhe der CO₂-Emissionen beziehen, sondern können bspw. auch Aspekte der Informationsversorgung betreffen. So könnte aus dem strategischen Thema „Produktspezifischer CO₂-Ausweis“ bspw. das Ziel „Kundenorientierte Bereitstellung von CO₂-Informationen verbessern“ abgeleitet werden. Hinsichtlich der Anzahl der Ziele sollten maximal sieben bis neun Emissionsziele formuliert werden. Der Grund dafür ist, dass es sich bei dem Carbon Management um einen Teilaspekt des Nachhaltigkeitsmanagements handelt und entsprechende, meist begrenzte, Ressourcen innerhalb dessen bereitgestellt werden müssen.

Die Ziele selbst können als Effektivitäts- oder als Effizienzziel formuliert sein (vgl. Stahlmann/Claussen 1999). Effektivitätsziele (z. B. Senkung des CO₂-Ausstoßes um 20 Tonnen bis 2017) fokussieren auf die absolute Verminderung oder „Nicht-Erhöhung“ der CO₂-Emissionen, während sich Effizienzziele (Steigerung der CO₂-Effizienz je Produkt um 20 Prozent) auf die effizientere Nutzung der eingesetzten Ressourcen beziehen.

Idealerweise werden die Emissionsziele **SMART** formuliert, also spezifisch, messbar, anspruchsvoll, realistisch und terminiert.

Hinsichtlich einer **spezifischen** Zielformulierung sollte darauf geachtet werden, dass die gewählten Formulierungen einfach verständlich sind und zu einer kontinuierlichen Verbesserung anregen. Weiterhin sollten Ziele von Maßnahmen unterschieden werden. Der Unterschied besteht darin, dass Maßnahmen konkrete Aktivitäten beschreiben um ein Ziel zu erreichen. Maßnahmen sind zudem im Gegensatz zu Zielen zu einem bestimmten Zeitpunkt abgeschlossen.

Ableitung der Emissionsziele

Die Anforderung **messbare** Ziele zu formulieren, impliziert, dass es eine Verknüpfung zwischen Carbon Accounting und Zielformulierung geben muss. Idealerweise stehen geeignete Kennzahlen bereits zur Verfügung. Alternativ können weitere Kennzahlen definiert und in Kennzahlen-Datenblättern beschrieben werden.

Anspruchsvolle Ziele können durch die Definition entsprechender Zielhöhen realisiert werden. Die Zielhöhe wird dabei durch die Überlagerung von vier Informationsquellen gewonnen:

- **Markt:** Was ist branchenüblich? Welche Zielhöhen setzen sich die Wettbewerber?
- **Unternehmen:** Was ist technologisch möglich? Welche Unternehmensziele sind zu beachten?
- **Standards:** Was ist branchenüblich? Wie entwickelt sich die Gesetzeslage?
- **Wissenschaft:** Wie leiten sich unternehmensspezifische Ziele aus dem globalen Reduktionsziel ab?

Unbeachtet davon besteht vereinfachend die Möglichkeit Senkungsabschläge auf die Ist-Emissionshöhen vorzunehmen. Inwiefern die so definierten Ziele allerdings anspruchsvoll sind, bleibt offen.

Ableitung der Emissionsziele

Eine wichtige Voraussetzung um **realistische** Ziele setzen zu können ist es, dass die Mitarbeiter ausreichendes Wissen über die Ursache-Wirkungs-Beziehungen hinsichtlich der CO₂-Emissionen besitzen. Der Grund dafür ist, dass die Emissionsmenge nur indirekt beeinflusst werden kann, bspw. durch einen geringeren Energieeinsatz oder effizientere Prozesse. Die Mitarbeiter müssen deshalb die Stellhebel kennen, die ihnen die Erreichung der Emissionsziele ermöglichen.

Die **Terminierung** von Zielen wiederum bedingt einen langfristigen Projektplan, aus dem deutlich hervorgeht, wann und in welchem Umfang einzelne Maßnahmen zur Zielerreichung eingesetzt werden. Der Maßnahmenplan kann gleichzeitig als Reporting- und Steuerungsinstrument innerhalb des Carbon Controllings eingesetzt werden.

Allokation der Emissionsziele (optional)

Im vierten Schritt, der optional ausgeführt werden kann, können die Emissionsziele auf verschiedene Unternehmensbereiche (Prozesse, Produkte, usw.) herunter gebrochen (allokiert) werden.

	Pro	Contra
Gleiche Emissionsziele für alle Bereiche (Gleichverteilungs-Ansatz)	Einsatz auch mit wenigen Erfahrungen und Daten möglich.	Pauschale Verteilung führt dazu, dass die Erreichung des Emissionsziels unzureichend gesteuert werden kann.
Verteilung entsprechend der Höhe der durch Bereich verursachten Emissionen (Verursachungsansatz)	Verursachungsgerechte Aufschlüsselung der Zielwerte.	Ungeeignet, wenn Hauptverursacher nur geringes Reduktionspotenzial besitzen
Verteilung entsprechend möglicher Reduktionspotenziale (Reduktionsansatz)	Maximales Reduktionspotenzial des Unternehmens kann ausgeschöpft werden.	Abschätzung des Reduktionspotenzials erfordert viel Erfahrung. Absolute Emissionshöhe der einzelnen Verursacher gerät zunächst in den Hintergrund
Verteilung entsprechend der Ist-Emissionen vergleichbarer Unternehmen (Vergleichsansatz)	Marktorientierte Allokation der Emissionsziele wird ermöglicht.	Hoher Aufwand zum Aufbau einer Datenbasis über andere Unternehmen
Verteilung entsprechend der theoretisch minimalen (Soll-) Emissionen (Theoriebasierter Ansatz)	Aufwandsarme Umsetzung bei Fertigungsbereichen, in denen Input-Output-Relationen determiniert sind	Unternehmensspezifische Reduktionspotenziale bleiben unberücksichtigt

Wie können Störfaktoren beseitigt werden?

Vor der endgültigen Verabschiedung der Emissionsziele sollten potenzielle Störfaktoren, die die Zielrealisierung behindern könnten, identifiziert werden. Störfaktoren können durch Zielkonflikte oder durch andere Hemmnisse verursacht werden. Zielkonflikte ergeben sich beispielsweise im Rahmen der Zielvereinbarungen mit Führungskräften. Erhalten die Führungskräfte z. B. ein Ziel das die Ausweitung der Produktionsmenge vorsieht, müssen aber gleichzeitig die absolute Menge an Emissionen senken, kann dies zu einem Zielkonflikt führen. Aufgelöst werden könnte der geschilderte Konflikt beispielsweise durch die Definition relativer Effizienzziele (CO₂-Emissionen je produziertem Stück).

Hemmnisse können in fehlende Ziele, fehlende Regelungen, fehlende Informationen, fehlendes Wissen sowie fehlendes Anreiz- und Sanktionssystem unterteilt werden (vgl. Günther 2009). Durch eine Hemmnismatrix können die Ausprägungen der Hemmnisse innerhalb des Unternehmens identifiziert und durch Gegenmaßnahmen beseitigt werden (zum Vorgehen vgl. Günther 2009). An dieser Stelle sei auf das größte und häufigste Hindernis hingewiesen: die mangelnde Unterstützung der Geschäftsführung. Zahlreiche Studien zeigen, dass Emissionsziele nur mit aktiver Unterstützung der Geschäftsführung umgesetzt werden können. Ohne diese Unterstützung ist eine Umsetzung von Zielemissionen nur schwer zu realisieren.

Überführung der Emissionsziele in Senkungsmaßnahmen

Die vorangegangenen Schritte dienen der Ableitung von Emissionszielen aus den Anforderungen der Anspruchsgruppen des Unternehmens. Die Emissionsziele beschreiben dabei die gewünschte Höhe der Emissionen eines Unternehmens und seiner Teilbereiche. Den Ausgangspunkt für die Planung konkreter Maßnahmen bildet die Gegenüberstellung der Ziel- und Ist-Werte. Je nach Höhe der sich so ergebenden Lücke sind entsprechende Senkungsmaßnahmen zu wählen.

Die Art der Maßnahmen hängt dabei von dem betrachteten Scope ab. Sollen Scope-1-Emissionen vermindert werden, müssen Maßnahmen gefunden werden, durch die Verbrennungsvorgänge eingespart werden können. Scope-2-Maßnahmen betreffen insbesondere Energieeinsparungen und Scope-3-Maßnahmen vor allem das Management von Zulieferern.

Mittlerweile existieren zahlreiche Kataloge anhand der geeignete Maßnahmen identifiziert werden können. Wichtig ist es in diesem Zusammenhang darauf zu achten, welchen konkreten Beitrag die Maßnahmen zur Erreichung der Emissionsziele beitragen können und welche Kosten dadurch verursacht werden. Durch einen Vergleich der Maßnahmenwirkungen und -kosten können so die wirtschaftlichsten Maßnahmen identifiziert werden. Neben den wirtschaftlichen Aspekten können darüber hinaus auch qualitative Kriterien wie der Nutzen für die Anspruchsgruppen zur Maßnahmenauswahl hinzugezogen werden. Mit der Entscheidung für spezifische Maßnahmen ist auch die Festlegung eines Verantwortlichen sowie von Meilensteinen verbunden. Ziel sollte es sein die Maßnahmen in einem langfristigen Maßnahmencontrolling zu begleiten, um so den Erfolg oder Misserfolg der Maßnahmen nachvollziehen zu können.

Carbon Planning

Der Gegenstand dieses Ergebnisbausteins ist die **Unterstützung des Kunden (Filteranwender)** durch

- wirtschaftliche und ökologische **Planungs- und Investitionskalküle**,
- einen Katalog mit wirtschaftlich und ökologisch **bewerteten Maßnahmen** zur kontinuierlichen Emissionssenkung, sowie durch

Nachfolgend werden folgende Fragen zum Carbon Planning des Betriebs und der Entsorgung geklärt:

- Wie können Investitionen mithilfe ökologischer Kriterien bewertet werden?
- Mit welchen Maßnahmen kann die Druckluftanlage effizienter sowie emissionsfreier betrieben werden?

Erweiterten Investitionsrechnung für die Entsorgungsphase

Investitionsrechnung – Eingabemaske

Der Demonstrator zur ökologieorientierten Investitionsrechnung zeigt wann eine Alternative besser ist, als eine andere.

Dies geschieht mittels weniger Kriterien, wie z.B. dem Zinssatz, der Nutzungsdauer sowie dem Filterpreis. Die entsprechenden Umweltkriterien werden durch hinterlegte Berechnungen automatisch ergänzt.

Unter Umweltleistung (UL) werden die zu einer einzelnen Größe aggregierten Umweltbeeinflussung während des gesamten Lebenszyklus verstanden. „UL durch Investition“ bezeichnet. Alle Umweltbelastungen, die zur Realisierung der Investition notwendig sind (z.B. Herstellung einer Maschine). „UL pro Periode“ bezeichnet alle Umweltbelastungen, die während der Nutzungsdauer Anfallen (inkl. Entsorgungsphase). „Öko-Effizienz“ ist das Verhältnis aus Kapitalwert und Umweltleistung.

Filter 1: 150 mbar		Filter 2: 200 mbar	
Zinssatz	5%	Zinssatz	5%
Nutzungsdauer	2	Nutzungsdauer	2
Filterpreis	2000	Filterpreis	1500
Kapitalwert	5.675,20 €	Kapitalwert	6.122,99 €
normiert	0,83	normiert	0,90
Umweltleistung	kg/kWh	Umweltleistung	kg/kWh
UL pro Periode	319,730112	UL pro Periode	426,306816
UL gesamt	639,460224	UL gesamt	852,613632
normiert	0,3	normiert	0,4
Öko-Effizienz	8,87	Öko-Effizienz	7,18
UL pro Periode (bisher)	15986,5056	UL pro Periode (bisher)	15986,5056
Entlastung pro Periode	15666,77549	Entlastung pro Periode	15560,19878
Entlastung gesamt	31333,55098	Entlastung gesamt	31120,39757

Erweiterten Investitionsrechnung für die Entsorgungsphase

Anschließend erfolgt eine subjektive Bewertung der Alternativen (hier exemplarisch an den Kriterien Preis, Filterqualität und Hersteller gezeigt).

Es können bis zu 10 Bewertungskriterien benannt werden. Die Kriterien für den Nutzwert werden in Prozent gewichtet. Pro Kriterium können Punkte von 0 (schlechtester Wert) bis 10 (besten Wert) vergeben werden. Die Punktzahl wird mit der Gewichtung und dem Faktor 10 multipliziert. Folglich liegen die resultierenden Nutzwerte zwischen 0 (schlechtester Wert) und 100 (besten Wert).

Bewertungsmaßstab Punkteskala: 1 - 10 Gewichtung in Prozent		Filterqualität sehr gut (150 mbar)		Filterqualität gut (200 mbar)	
Kriterien	Gewichtung	Punkte	Wert	Punkte	Wert
Preis	50%	2	10	3	15
Filterqualität	30%	9	27	8	24
Hersteller	20%	9	18	7	14
Kriterium 4	0%		0		0
Kriterium 5	0%		0		0
Kriterium 6	0%		0		0
Kriterium 7	0%		0		0
Kriterium 8	0%		0		0
Kriterium 9	0%		0		0
Kriterium 10	0%		0		0
Gesamt	100%				
Nutzwert			55		53
Rang			1		2
normiert			1		0,963636364

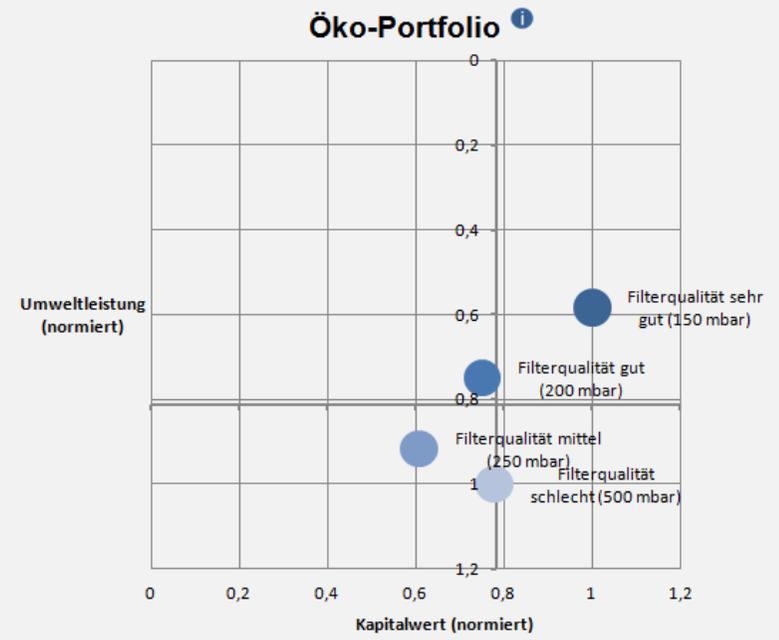
Erweiterten Investitionsrechnung für die Entsorgungsphase



Investitionsrechnung – Ergebnisübersicht

Zur graphischen Auswertung findet sich in der Ergebnisübersicht ein Öko-Portfolio. Dort werden die normierten Ergebnisse abgetragen. Je besser eine Alternative ist, desto näher befindet es sich in der Ecke (rechts/oben)

	Filterqualität sehr gut (150 mbar)	Filterqualität gut (200 mbar)	Filterqualität mittel (250 mbar)	Filterqualität schlecht (500 mbar)
Kapitalwert	4.000,00 €	3.000,00 €	2.428,10 €	3.109,92 €
Umweltleistung	140,00	180,00	220,00	240,00
Ökol. Amortisationsdauer	1,67	2,50	5,00	10,00
Öko-Effizienz	28,57	16,67	11,04	12,96
Nutzwert	55	53	52	35
Mittelwerte				
Kapitalwert \emptyset	3.134,50 €			
Umweltleistung \emptyset	195,00			
Nutzwert \emptyset	48,75			
Mittelwerte (normiert)				
Kapitalwert \emptyset	0,78			
Umweltleistung \emptyset	0,81			
Nutzwert \emptyset	0,89			



Erweiterten Investitionsrechnung für die Entsorgungsphase

Investitionsrechnung – Eingabemaske

Der Demonstrator zur ökologieorientierten Investitionsrechnung zeigt wann eine Alternative besser ist, als eine andere.

Dies geschieht mittels weniger Kriterien, wie z.B. dem Zinssatz, der Nutzungsdauer sowie dem Filterpreis. Die entsprechenden Umweltkriterien werden durch hinterlegte Berechnungen automatisch ergänzt.

Unter Umweltleistung (UL) werden die zu einer einzelnen Größe aggregierten Umweltbeeinflussung während des gesamten Lebenszyklus verstanden. „UL durch Investition“ bezeichnet. Alle Umweltbelastungen, die zur Realisierung der Investition notwendig sind (z.B. Herstellung einer Maschine). „UL pro Periode“ bezeichnet alle Umweltbelastungen, die während der Nutzungsdauer Anfallen (inkl. Entsorgungsphase). „Öko-Effizienz“ ist das Verhältnis aus Kapitalwert und Umweltleistung.

Filter 1: 150 mbar		Filter 2: 200 mbar	
Zinssatz	5%	Zinssatz	5%
Nutzungsdauer	2	Nutzungsdauer	2
Filterpreis	2000	Filterpreis	1500
Kapitalwert	5.675,20 €	Kapitalwert	6.122,99 €
normiert	0,83	normiert	0,90
Umweltleistung	kg/kWh	Umweltleistung	kg/kWh
UL pro Periode	319,730112	UL pro Periode	426,306816
UL gesamt	639,460224	UL gesamt	852,613632
normiert	0,3	normiert	0,4
Öko-Effizienz	8,87	Öko-Effizienz	7,18
UL pro Periode (bisher)	15986,5056	UL pro Periode (bisher)	15986,5056
Entlastung pro Periode	15666,77549	Entlastung pro Periode	15560,19878
Entlastung gesamt	31333,55098	Entlastung gesamt	31120,39757

Erweiterten Investitionsrechnung für die Entsorgungsphase

Anschließend erfolgt eine subjektive Bewertung der Alternativen (hier exemplarisch an den Kriterien Preis, Filterqualität und Hersteller gezeigt).

Es können bis zu 10 Bewertungskriterien benannt werden. Die Kriterien für den Nutzwert werden in Prozent gewichtet. Pro Kriterium können Punkte von 0 (schlechtester Wert) bis 10 (besten Wert) vergeben werden. Die Punktzahl wird mit der Gewichtung und dem Faktor 10 multipliziert. Folglich liegen die resultierenden Nutzwerte zwischen 0 (schlechtester Wert) und 100 (besten Wert).

Bewertungsmaßstab Punkteskala: 1 - 10 Gewichtung in Prozent		Filterqualität sehr gut (150 mbar)		Filterqualität gut (200 mbar)	
Kriterien	Gewichtung	Punkte	Wert	Punkte	Wert
Preis	50%	2	10	3	15
Filterqualität	30%	9	27	8	24
Hersteller	20%	9	18	7	14
Kriterium 4	0%		0		0
Kriterium 5	0%		0		0
Kriterium 6	0%		0		0
Kriterium 7	0%		0		0
Kriterium 8	0%		0		0
Kriterium 9	0%		0		0
Kriterium 10	0%		0		0
Gesamt	100%				
	Nutzwert		55		53
	Rang		1		2
	normiert		1		0,963636364

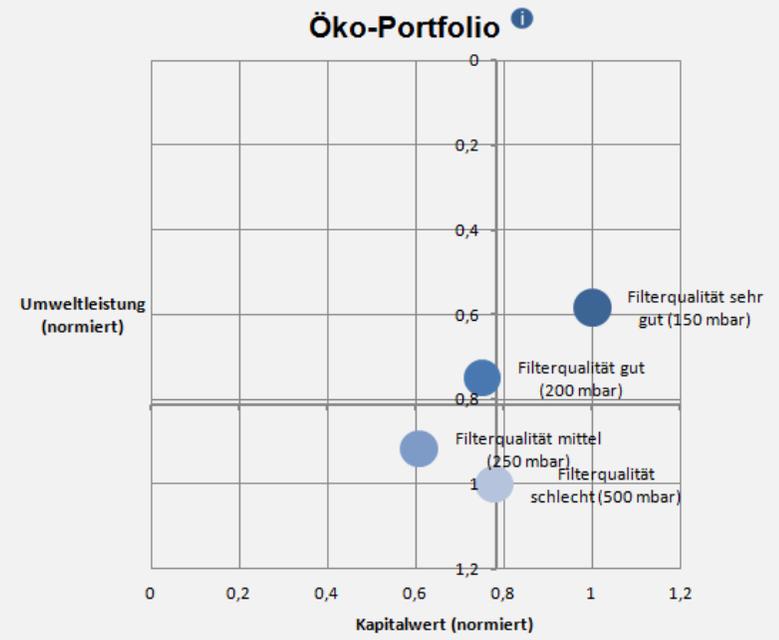
Erweiterten Investitionsrechnung für die Entsorgungsphase



Investitionsrechnung – Ergebnisübersicht

Zur graphischen Auswertung findet sich in der Ergebnisübersicht ein Öko-Portfolio. Dort werden die normierten Ergebnisse abgetragen. Je besser eine Alternative ist, desto näher befindet es sich in der Ecke (rechts/oben)

	Filterqualität sehr gut (150 mbar)	Filterqualität gut (200 mbar)	Filterqualität mittel (250 mbar)	Filterqualität schlecht (500 mbar)
Kapitalwert	4.000,00 €	3.000,00 €	2.428,10 €	3.109,92 €
Umweltleistung	140,00	180,00	220,00	240,00
Ökol. Amortisationsdauer	1,67	2,50	5,00	10,00
Öko-Effizienz	28,57	16,67	11,04	12,96
Nutzwert	55	53	52	35
Mittelwerte				
Kapitalwert \emptyset	3.134,50 €			
Umweltleistung \emptyset	195,00			
Nutzwert \emptyset	48,75			
Mittelwerte (normiert)				
Kapitalwert \emptyset	0,78			
Umweltleistung \emptyset	0,81			
Nutzwert \emptyset	0,89			



Erweiterbarer Katalog mit bewerteten Maßnahmen zur Emissionssenkung



Der Maßnahmenkatalog umfasst 19 Einzelmaßnahmen zur Reduzierung der betrieblichen CO₂-Bilanz. Die Maßnahmen sind entweder direkt dem Druckluftfilter oder aber auch der gesamten Anlage zuzurechnen.

Maßnahmen	
Wärmetauscher	Revision des Kompressors
Leckagen am Kompressor	Alternativen zur Druckluft (z.B. elektrische Verbraucher)
Leckagen im Leitungsnetz	Umgang (ökologisch und ökonomisch)
Leckagen an den Verbrauchsstellen	Umgang mit Druckluft (Mitarbeiterschulung)
Druckniveau einstellen	Automatisierung Druckluftsteuerung
Brauchwassererwärmung	Wartung der gesamten Anlage
Leerlauf und Abschaltung optimieren	Umgebungsbedingungen optimieren
Wahl des richtigen Kompressors	Anwender schulen (Druckluftbeauftragung)
Neuanlage	Druckluftaufbereitung
Druckluftüberwachung (Monitoring)	

Erweiterbarer Katalog mit bewerteten Maßnahmen zur Emissionssenkung



Die Tabelle zeigt einen Mustersteckbrief.

Maßnahme	[Name der Maßnahme]				Nummer	
Handlungsfeld		Kompressor		Verbraucher		extern
		Leitung		Personal		allgemein
Priorität		mittel		hoch		sehr hoch
Umsetzung		sofort		kurzfristig		langfristig
Beschreibung und Handlungsschritte						
[Welches Problem herrscht vor und wie kann es behoben werden?]						
Umsetzung						
[Welche Maßnahmen sind zu treffen?]						
Erwartete Kosten						
[Wie hoch sind die durchschnittlichen Kosten für die Maßnahme, soweit dies möglich ist?]						
Erwarteter Nutzen & Einsparungen						
[Wie machen sich die Maßnahmen bemerkbar finanziell aber auch andere Faktoren]						
CO₂	[Wie viel CO ₂ kann durch eine durchschnittliche Maßnahme eingespart werden?]					
[Welche Annahmen wurden für die Berechnungen getroffen?]						

Erweiterbarer Katalog mit bewerteten Maßnahmen zur Emissionssenkung

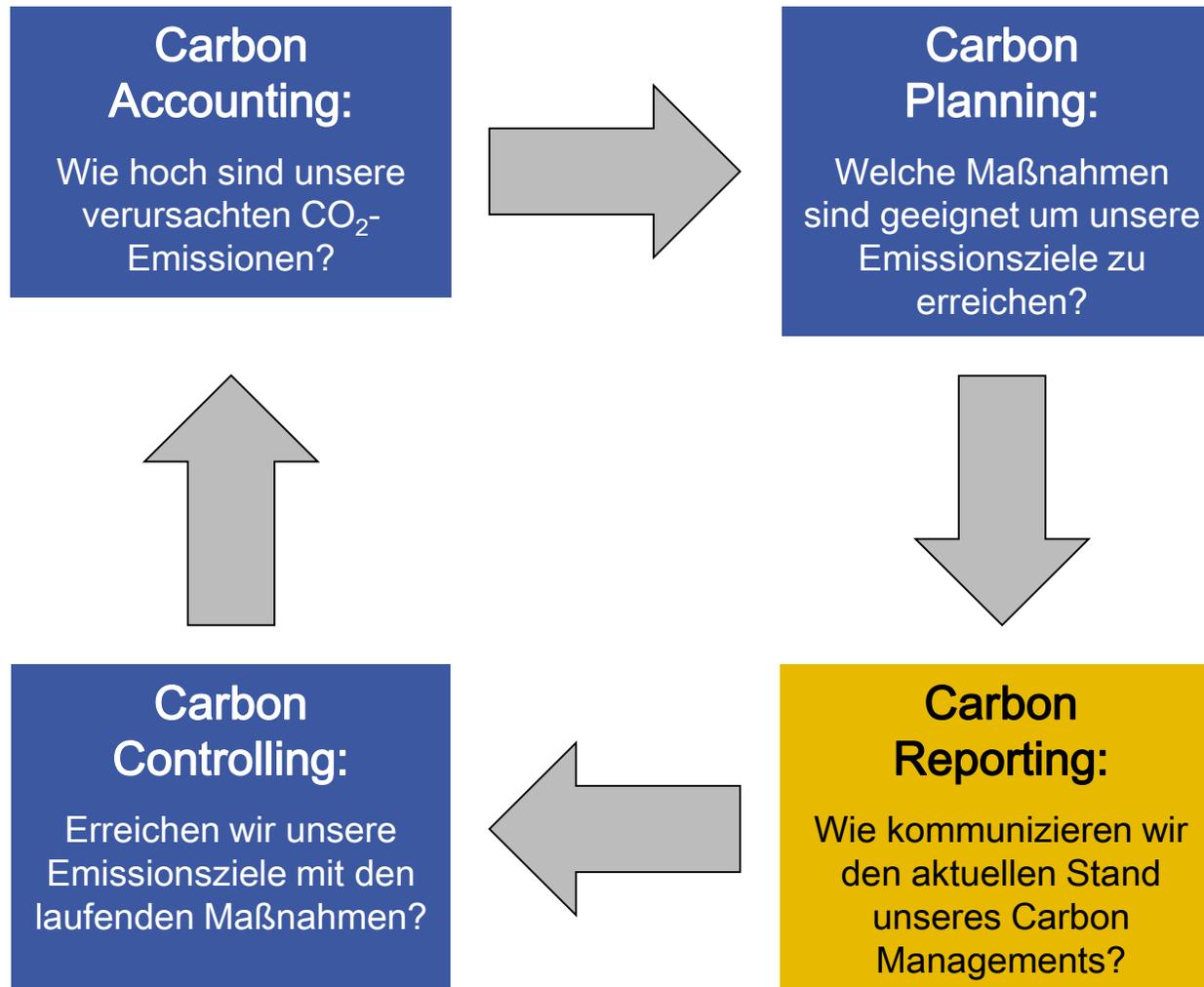


Die Tabelle zeigt exemplarisch einen Steckbrief für den Umgang mit Druckluft (siehe Abschlussbericht).

Maßnahme	Umgang mit Druckluft					14
Handlungsfeld	X	Kompressor	X	Verbraucher	X	extern
	X	Leitung	X	Personal	X	allgemein
Priorität		mittel		hoch	X	sehr hoch
Umsetzung		sofort	X	kurzfristig		langfristig
Beschreibung und Handlungsschritte						
Die Mitarbeiter müssen bezüglich des Umgangs mit Druckluft geschult werden, dass bedeutet das bei jeder Anwendung hinterfragt werden muss, ob es eine sinnvolle Alternative gibt. Unnötiges Druckluftspritzen muss vermieden werden! Falls es unvermeidlich ist, gibt es hierfür spezielle Injektordüsen. Desweiteren soll Druckluft nicht zum Kühlen genutzt werden, Gebläse sind hierfür die bessere Kühlmethode. Außerdem ist es nicht nur eine rein ökologische Maßnahme, sondern trägt auch zur Gesundheitssteigerung bei, da beim Ausblasen z.B. der Werkhalle Schwebstoffe (Schadstoffe) in die Atemwege gelangen können.						
Umsetzung						
Besen und Kehrblech als Alternative für druckluftbasiertes Reinigen. Falls das Druckluftspritzen unverzichtbar = maximal mit 2 bar						
Erwartete Kosten						
keine						
Erwarteter Nutzen & Einsparungen						
Erwartete Einsparungen pro Jahr (5%) = 1.404,00€						
CO₂						5,33 t CO ₂

*Unternehmen mit 90 kW Kompressor, 100% Auslastung, Strommix (26% erneuerbare Energie, 74% konventionelle Energie)

Carbon Management-Zyklus



Management Reporting

Teilprozesse

Set-up des Prozesses vornehmen

Reportingsystem-/Datenprozesse managen

Berichte erstellen (Zahlenteil)

Berichte erstellen (Abweichungsanalyse , Kommentar)

Teilprozesse und Instrumente mit hoher Relevanz für die Berücksichtigung von Nachhaltigkeitsstrategien

Das Berichtswesen bezeichnet „Informationsübermittlungsvorgänge zwischen den Stellen der Informationsentstehung und der Informationsverwendung“ (Horvath 2006). Es soll als Grundlage für Managemententscheidungen dienen. Hierfür werden Kennzahlen für verschiedene Bereiche des Unternehmens gebildet und je nach Anspruch der Empfänger in aggregierter Form in einem Bericht wiedergegeben.

Die bisher gewonnenen Emissionsdaten und Maßnahmen werden alle gebündelt in einem Carbon Reporting zusammengefasst. Sie können zum einen zur internen aber auch zur externen Berichterstattung, z.B. in Form von Nachhaltigkeitsberichten genutzt werden. Desweiteren können diese Berichte auch das Management bei ihren Entscheidungen unterstützen und zudem Abweichungsanalysen bereitstellen (in Anlehnung an Eitelwein/Goretzki 2010). Der Umfang der Informationen richtet sich dagegen nicht wie im herkömmlichen Reporting an klare Regeln, sondern nach der unternehmensspezifischen Positionierung in Bezug auf Nachhaltigkeit. Da jedoch keine einheitlichen Standards vorliegen, müssen diese Reports stets kritisch hinterfragt werden.

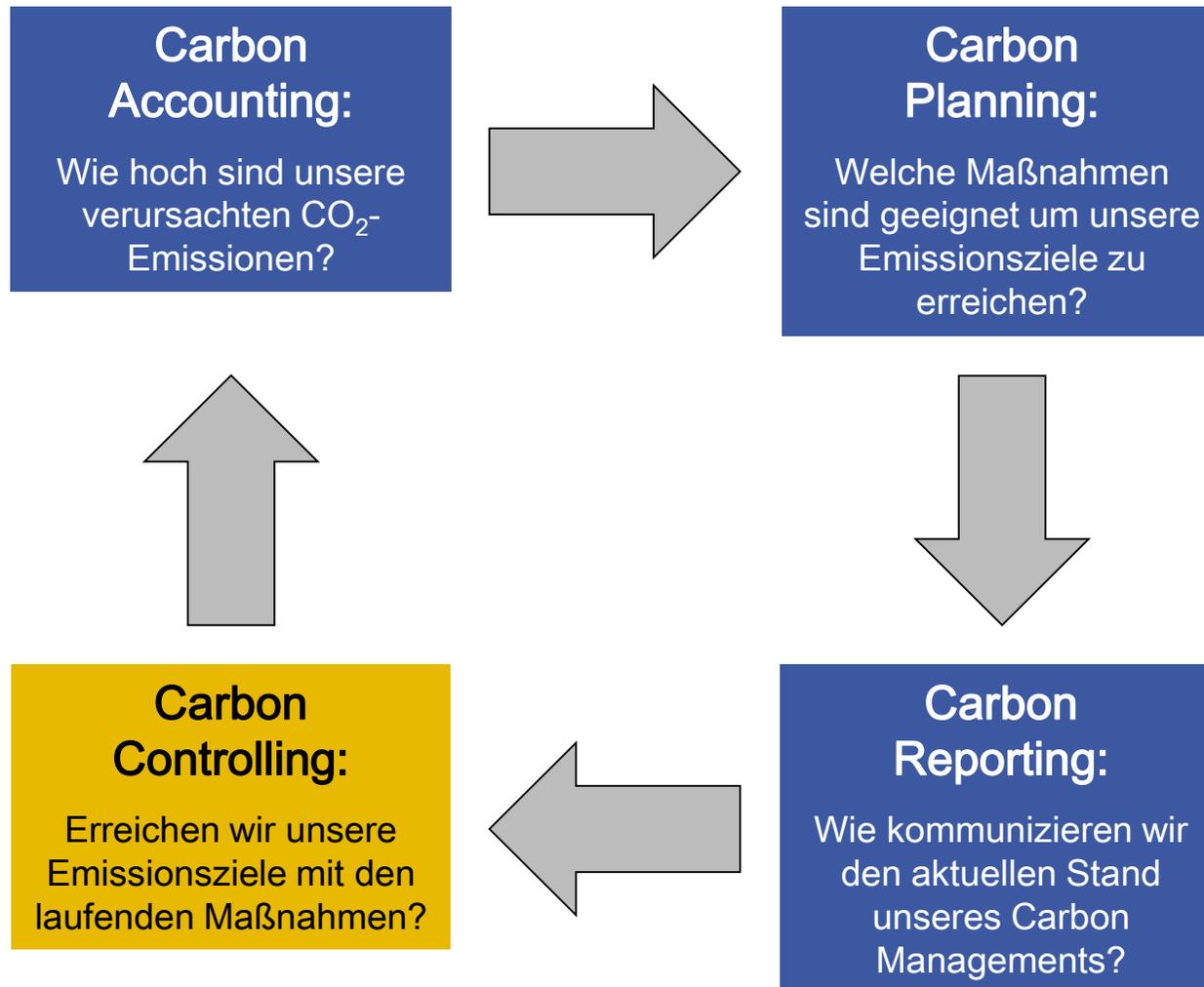
Carbon Reporting

Man unterscheidet zwischen externem und internem Berichtswesen, das Externe wird als Financial Reporting, das Interne als Management Reporting bezeichnet. Diese Unterscheidung richtet sich maßgeblich an die Adressaten, denn die Empfängergruppe hat individuelle Erwartungen an einen Bericht. Externe Empfänger möchten über die Lage informiert werden, interne Empfänger hingegen verlangen darüber hinaus Informationen zur Steuerung und Kontrolle von Maßnahmen.

Diese Informationen werden in der Regel mit Hilfe von Kennzahlen bereitgestellt, diese sind ein Instrument des Controlling, welche in geeigneter Form Informationen bereitstellt. (vgl. Horvath 2011) Sie dienen jedoch nicht nur der Informationsbereitstellung, sondern auch als Maß zur Steuerung. Kennzahlen können in unterschiedlichen Ausprägungen verwendet werden:



Carbon Management-Zyklus

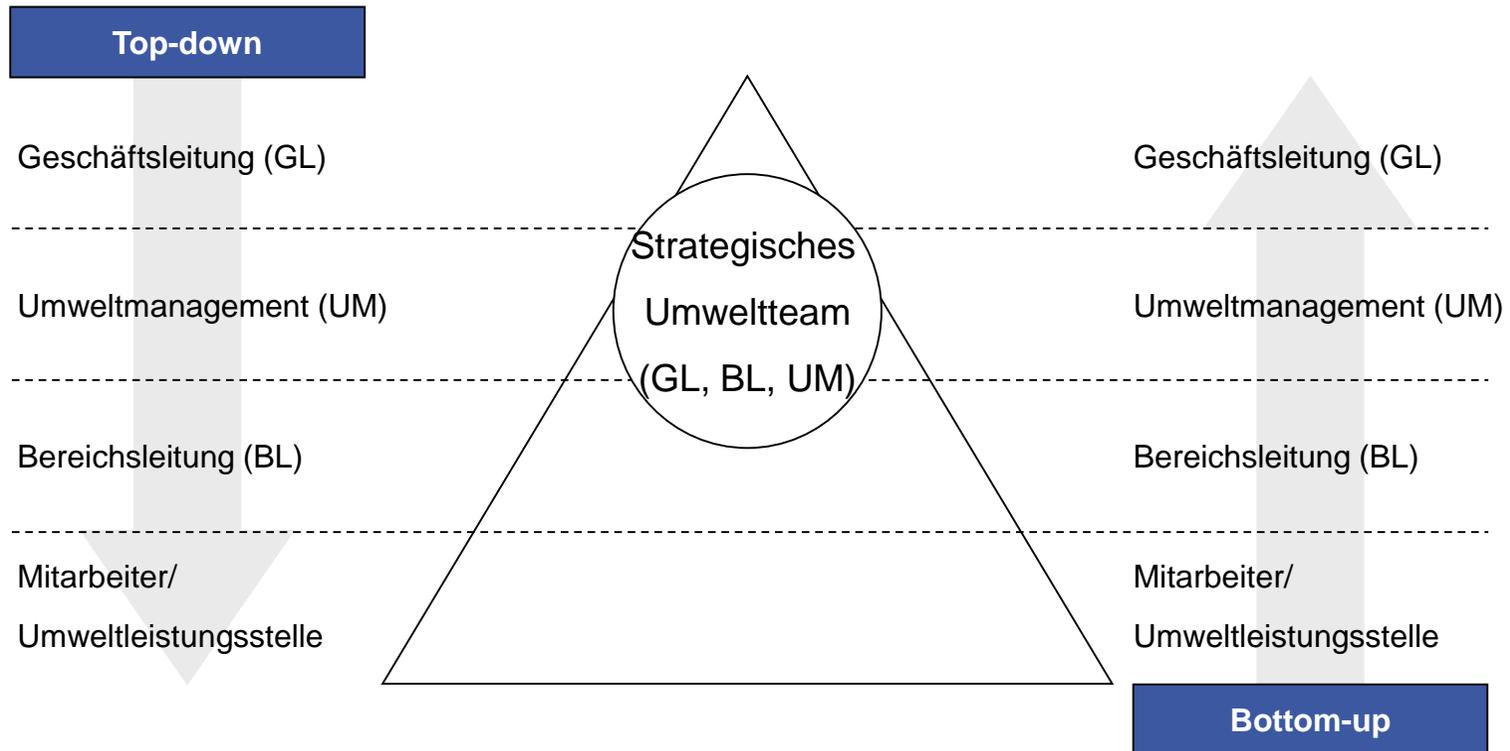


Carbon Controlling

Das Carbon Controlling hat als Basis das Carbon Accounting und unterstützt die Unternehmensführung bei der Umsetzung umweltorientierter Maßnahmen und gliedert sich in das Umweltcontrolling bzw. Nachhaltigkeitscontrolling ein. Hauptaufgaben des Carbon Controlling sind: die Zielsetzung, die Zielerreichung und die anschließende Kontrolle.

Das Carbon Controlling muss eindeutig von der Unternehmensführung definiert werden, sodass eine klare Abgrenzung zu anderen Umweltdisziplinen und einen klaren Bezug zur CO₂-Emission geschaffen wird (**Zielsetzung**). Dies funktioniert nur, wenn klare Verantwortungsbereiche abgesteckt und dazugehörige Personen bestimmt werden. Dies erfordert auch ein ausgestaltetes Anreizsystem, welches sicherstellen soll, dass Emissionen in Zukunft reduziert werden. Anschließend müssen die Ziele gesteuert und überwacht werden (**Zielerreichung und -kontrolle**). Ansonsten sind alle Anstrengungen des Carbon Controlling und des Carbon Accounting vergeblich und es wird kein positiver Beitrag zur CO₂-Effizienz beigetragen (Eitelwein/Goretzki 2010).

Für eine erfolgreiche Implementierung muss das Management die strategischen Ziele vorgeben (top-down Ansatz), sie geben folglich die Richtung vor, an denen sich das Umweltmanagement messen muss. Die Umsetzung geschieht anschließend durch das Umweltmanagement bzw. durch die Umweltleistungsstelle.
Das strategische Umweltteam besteht aus der Geschäftsleitung, Umweltmanagement und Bereichsleitung).



Carbon Controlling

Der Gegenstand dieses Ergebnisbausteins ist die **Unterstützung des Kunden (Filteranwender)** durch

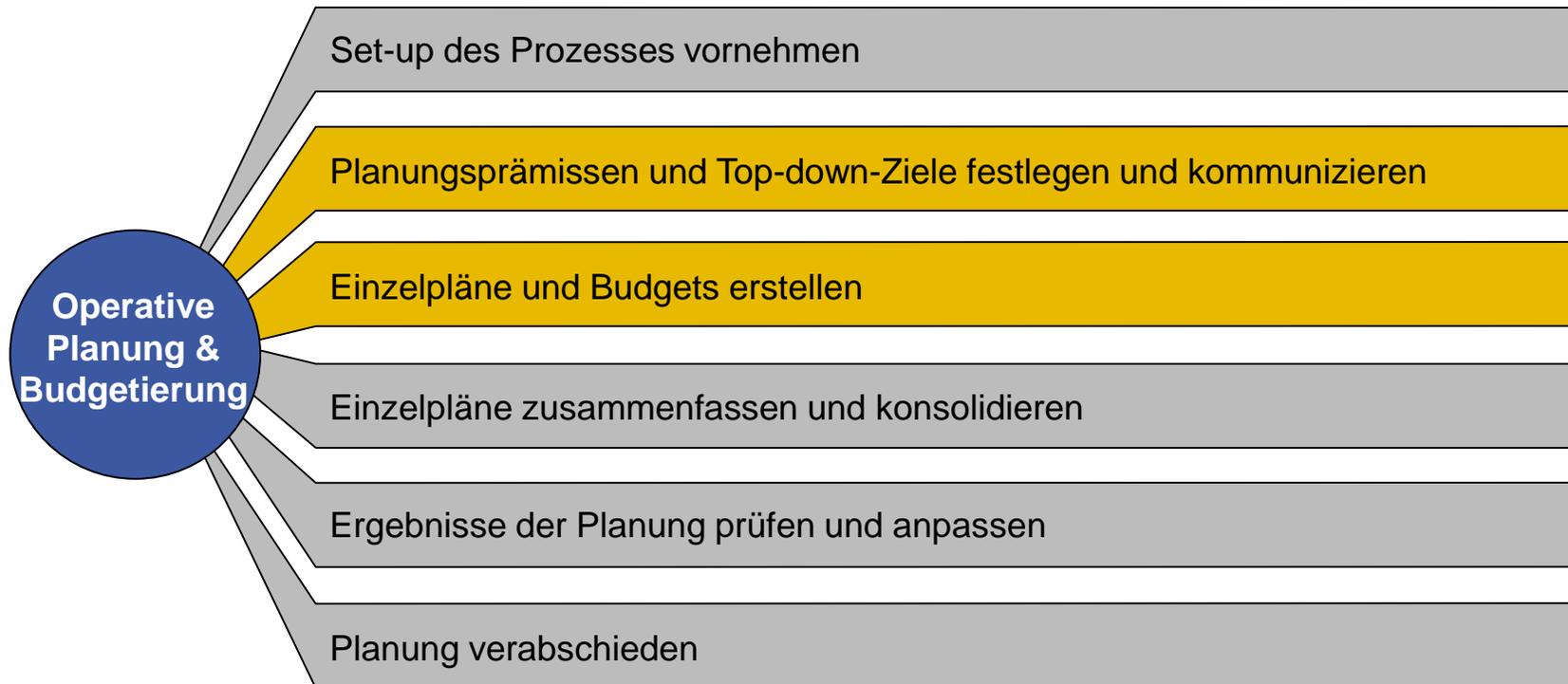
- einen Leitfaden zur **Planung und Steuerung der Maßnahmenumsetzung**, inkl. Kennzahlen zur Beurteilung der Ergebnisqualität von Einzelmaßnahmen und Maßnahmenbündeln.

Nachfolgend werden folgende Fragen zum Carbon Controlling des Betriebs und der Entsorgung geklärt:

- Wie können Maßnahmen geplant werden?
- Mit welchen Mitteln findet die Steuerung statt?

Wie können Maßnahmen operativ geplant und gesteuert werden?

Für die Umsetzung des Maßnahmenkatalogs ist die operative Planung die geeignetste Planungssystematik. Alle Maßnahmen haben einen kurz- bis mittelfristigen Charakter.



Quelle:
Weber, Jürgen; Schäffer, Utz (2011): Einführung in das Controlling. 13., überarbeitete und aktualisierte Auflage. Stuttgart: Schäffer-Poeschel.
In Anlehnung an IGC 2011, S21

Ausgewählte Prozesse der operativen Planung

Nachfolgend werden die zwei wichtigen Prozesse zur Planung und Steuerung beschrieben:

■ Planungsprämissen und Top-down-Ziele festlegen und kommunizieren

Die ökologischen Ziele müssen bestimmt werden, dies geschieht i.d.R. durch Top-down-Ziele. Ein Beispiel hierfür ist die Aussage der Deutschen Post im Rahmen des GOgreen Programms, Einsparung bis 2020 um 20% der Emissionen. Solch ein Ziel hat anschließend an alle nachgelagerten Positionen Einfluss. Wodurch z.B. das Flottenmanagement x % an Emissionen einsparen muss. Hierfür ist die Erstellung von Einzelplänen und Budgets notwendig.

■ Einzelpläne und Budgets erstellen

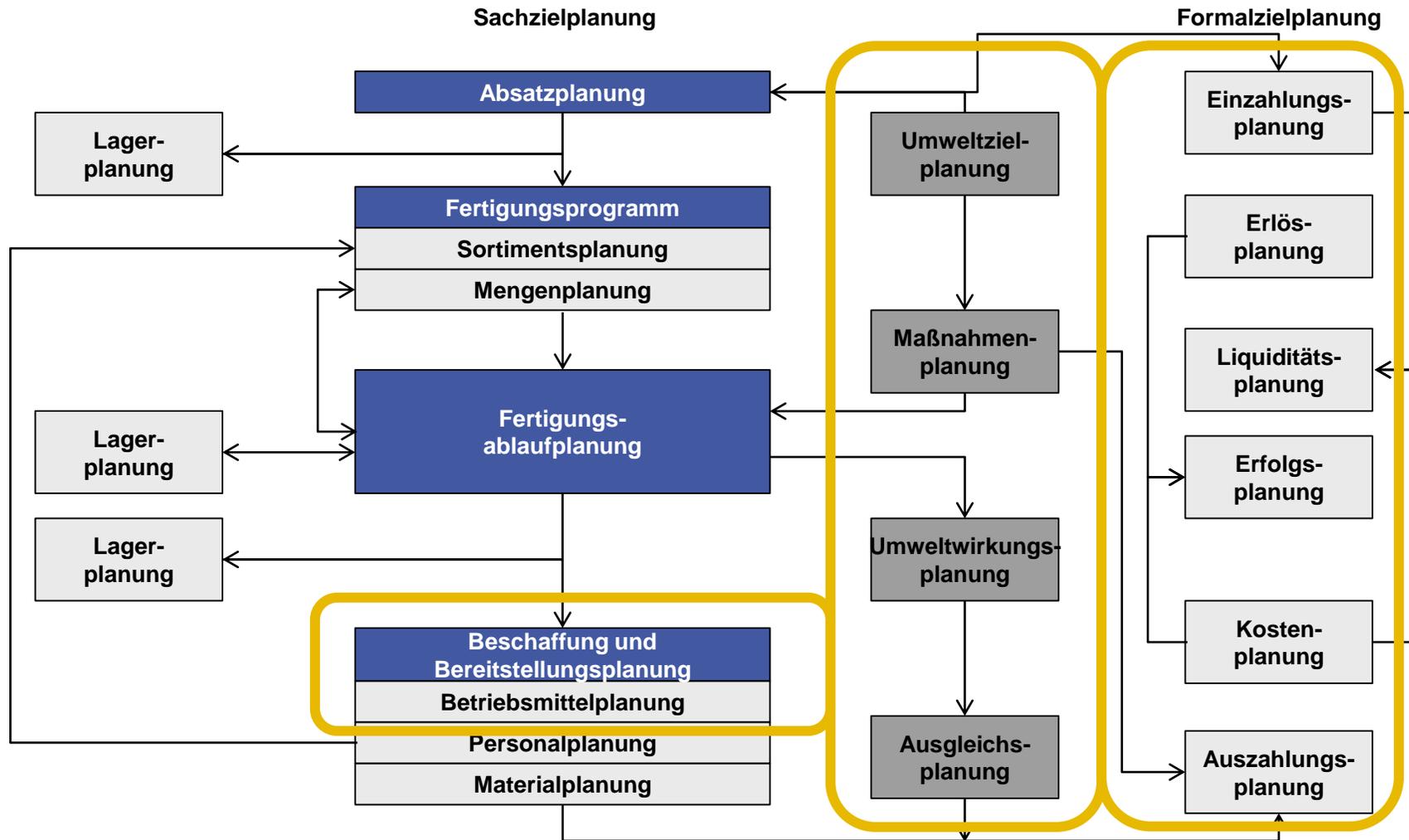
Top-down-Ziele bestehen aus vielen Einzelplänen, welche jeweils einzeln geplant werden müssen. Jedoch ist i.d.R. bei der Erreichung der Ziele auch eine Kostenrestriktion vorhanden, wodurch für jeden Einzelplan ein Budget bestimmt werden muss. Ist ein Budget für eine Summe von Einzelplänen definiert, so müssen die Pläne ausgewählt werden, welche gesamt betrachtet die größte Einsparung an Emissionen liefert.

Nachfolgend wird exemplarisch operativ das Budget festgelegt.

Quelle:

Weber, Jürgen; Schäffer, Utz (2011): Einführung in das Controlling. 13., überarbeitete und aktualisierte Auflage. Stuttgart: Schäffer-Poeschel.
In Anlehnung an IGC 2011, S21

Wie werden Maßnahmen geplant und gesteuert?



Quelle:
Steinke et al (2014): Green Controlling. Freiburg: Haufe-Lexware.

Bestimmung eines Maßnahmenportfolios

■ Operative Budgetfestlegung

Beispiel: Besteht von Seiten der Geschäftsführung das top-down Ziel: „Reduzierung der CO₂-Emissionen um 15%“, so ist zunächst sicherzustellen wie viel Tonnen CO₂ eingespart werden müssen. Anschließend muss das Budget für die Betriebsmittelplanung festgelegt werden (Druckluft sowie die Druckluftanlage).

Die Hauptaufgabe ist die Maximierung der CO₂-Einsparungen mit dem festgelegten Budget.

Beispiel: Die Hauptaufgabe ist die Maximierung der CO₂-Einsparungen mit dem festgelegten Budget.

Maßnahme	Einsparung	Kosten	Relation	Reihenfolge
A	10	3.000 €	300 €	2
B	3	400 €	133 €	1
C	4	4.000 €	1.000 €	6
D	3	2.500 €	833 €	5
E	11	6.200 €	564 €	4
F	6	3.000 €	500 €	3

Budget: 12.500 €

Maßnahmenbündel:		aufsummiert
	B	400 € 400 €
	A	3.000 € 3.400 €
	F	3.000 € 6.400 €
	E	6.200 € 12.600 €
	D	2.500 € 15.100 €
	C	4.000 € 19.100 €

		aufsummiert
	B	400 € 400 €
	A	3.000 € 3.400 €
	F	3.000 € 6.400 €
	D	2.500 € 8.900 €
	C	4.000 € 12.900 €

		aufsummiert
	A	3.000 € 3.000 €
	E	6.200 € 9.200 €
	B	400 € 9.600 €
	D	2.500 € 12.100 €

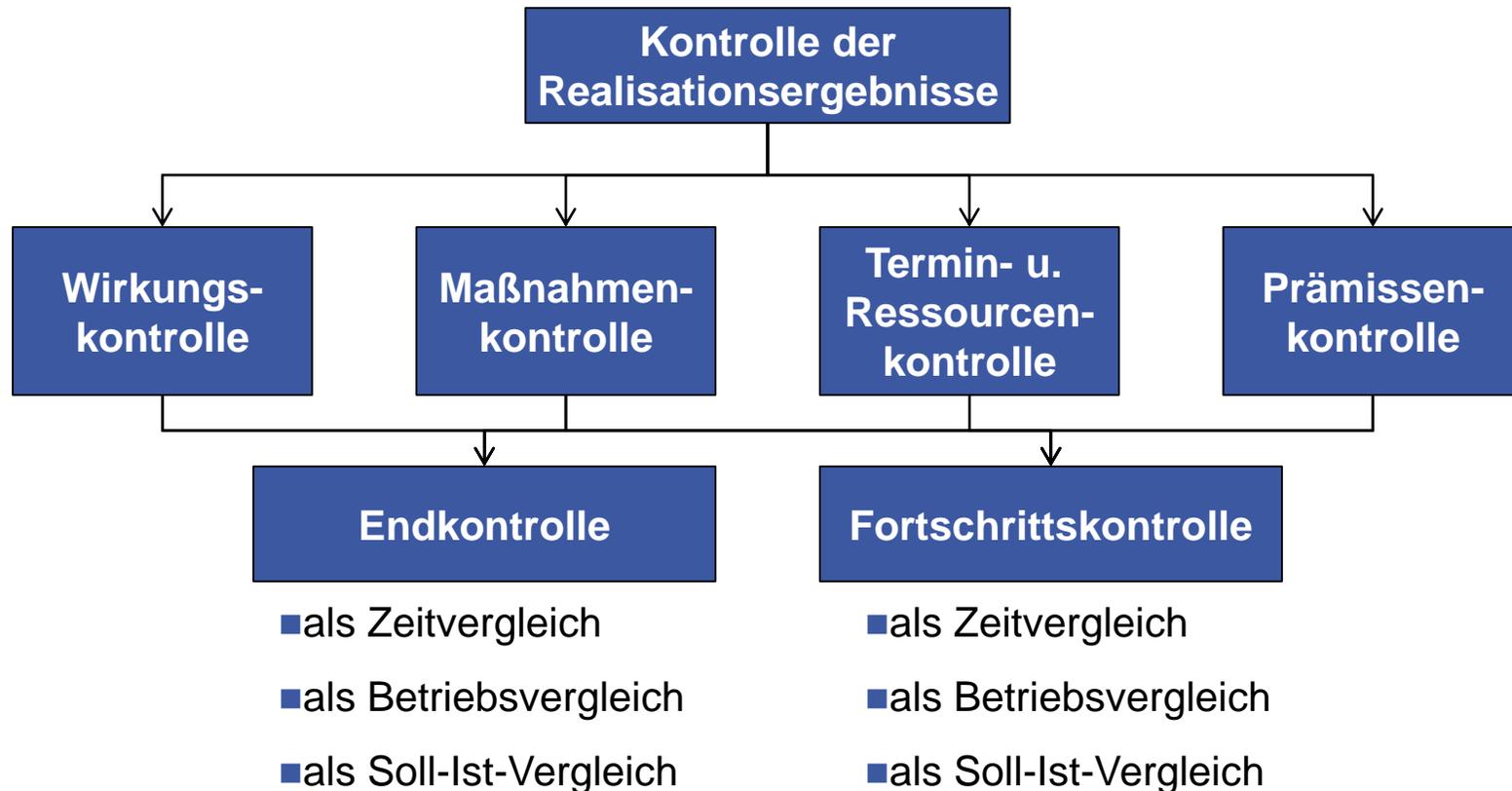
max. CO₂ Einsparung: 19
6.400 €

22
8.900 €

27
12.100 €

Steuerung der Ergebnisse mittels Kontrollen

Anschließend hat eine Kontrolle der Ergebnisse zu erfolgen. Die nachfolgende Grafik veranschaulicht die möglichen individuellen Kontrollmöglichkeiten und –methoden.



- Carbon Management für Druckluftfilter

- **Praktische Anwendungen (Fallstudien)**

Aktionsforschung als Grundlage der Validierung

Die Aktionsforschung dient dazu, die Anwendungsorientierung der Forschung sicherzustellen und besteht aus vier Phasen.

- Partizipation zwischen den einzelnen Parteien (Forschung und Praxis), mit dem Ziel objektive Ergebnisse vorweisen zu können.
- Kommunikation zwischen Theorie und Praxis, mit aufeinander aufbauenden Erkenntnissen.
- Interaktion der beiden Parteien wodurch das eigentliche Problem gelöst werden kann.
- Reflexion der gesammelten Erkenntnisse und anschließend einer kritischen Überprüfung gegebenenfalls sogar einer Revision.

Die Validierung erfolgt in drei Arbeitsschritten:



Vgl.
Altrichter/Posch, 1998
Elliot 1991, S. 71

Ablauf der Validierung

Gegenstand der Validierung waren die Projektergebnisse. Dabei stellt Arbeitspaket 1 die Grundlagen für das Projekt bereit. Die Inhalte aus Arbeitspaket 2 und 3 sind mangels Datenverfügbarkeit nur unter Laborbedingungen anwendbar.

Die Inhalte aus den Arbeitspaketen 4, 5, 6 und 7 sind zentraler Inhalt der Validierung.

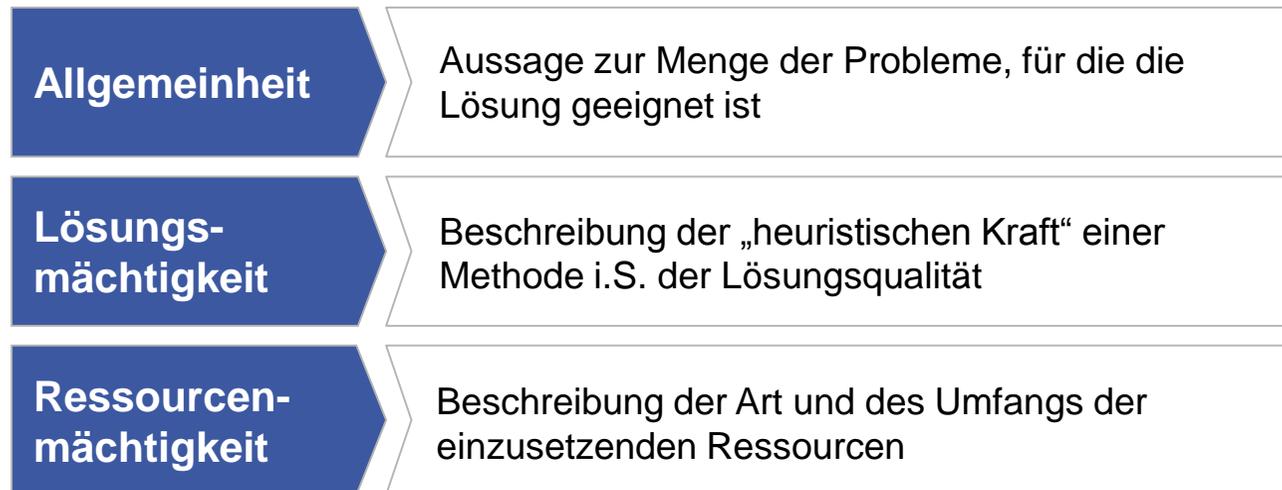
Gemäß des Antrags wurde die Validierung bei drei Unternehmen, davon mind. zwei kmU durchgeführt.

Die Unternehmen wurden mithilfe des projektbegleitenden Ausschusses akquiriert. Im Fokus stehen drei Unternehmen deren zentrale Produktion oder das Geschäftsmodell auf Druckluft basiert.

- 2 x Messtechnik-Hersteller
- 1 x Produzierende Unternehmen

Auswertung der Validierung

Die Validierung erfolgt mittels drei Kriterien zur Bewertung der (praxisorientierten) Ergebnisse.



In Anlehnung an.: Kirsch/Seidl/van Aaken 2007, S. 205ff.

Anwender 1: HÜBNER GmbH & Co. KG

Adresse	HÜBNER GmbH & Co. KG Heinrich-Hertz-Straße 2 34123 Kassel
KMU	nein
Branche(n)	Fahrzeugtechnik, Schienen, Flughafentechnik, Medizintechnik, Life Quality, Terahertz-Technologie, Photonics
Produktportfolio	Systemanbietern für technische Industrieprodukte
Ansprechpartner	Thomas Meibert (Leiter Werktechnik)

Anwender 2: Ehrler Prüftechnik Engineering GmbH

CARBON MANAGEMENT

Adresse	Ehrler Prüftechnik Engineering GmbH Wilhelm-Hachtel-Straße 8 97996 Niederstetten
KMU	ja
Branche(n)	Hersteller von elektrischen Mess- und Prüfinstrumenten
Produktportfolio	Messtechnik für Automotive, Automatisierung, Luftfahrt, Haus- u. Energietechnik, Pharmazie, Medizin, Chemie, Fluid- u. Ventiltechnik, Gas- u. Flowmesstechnik, Kraftwerkstechnik
Ansprechpartner	Andreas Dengel (Product Development Manager)

Anwender 3: CS Instruments GmbH

Adresse	CS Instruments GmbH Zindelsteinerstraße 15 78052 VS-Tannheim
KMU	ja
Branche(n)	Hersteller von elektrischen Mess-, Kontroll-, Navigations- u. ä. Instrumenten u. Vorrichtungen
Produktportfolio	Industrielle Messtechnik für Druckluft und Gase
Ansprechpartner	Dipl. Ing. (FH) Wolfgang Blessing (Geschäftsführer)

Projektergebnisse (1/2)

Carbon Management	Ergebnisse	Validierung
Carbon Accounting	Erarbeitung von Carbon Accounting Grundlagen (Product Category Rules) <i>(Grundlagen)</i>	
	<ul style="list-style-type: none"> Vorschläge für Product Category Rules für verschiedene Luftfiltertypen und unterschiedliche Belastungsszenarien, die als Grundlage für eine Standardisierung dienen können 	-
	<ul style="list-style-type: none"> Leitfaden, der die Anwendung der PCR zur Berechnung der CO₂-Emissionen für die Nutzungsphase von Druckluftfiltern erläutert 	-
	<ul style="list-style-type: none"> Vorschläge für um CO₂-Emissionen erweiterte Produktinformationsblätter 	
	Erarbeitung von Grundlagen zum ökologischen und ökonomischen Produktvergleich <i>(Fehlende Datenverfügbarkeit in der Praxis)</i>	
	<ul style="list-style-type: none"> Leitfaden zum Benchmarking 	-
	<ul style="list-style-type: none"> Demonstrator zur Unterstützung des Benchmarking 	-
	Erarbeitung eines Schätzvorgehens für Produkte ohne CO₂-Angabe <i>(Fehlende Datenverfügbarkeit in der Praxis)</i>	
	<ul style="list-style-type: none"> Leitfaden zur qualitativen Schätzung der CO₂-Emissionen 	-

Projektergebnisse (2/2)

Carbon Management	Ergebnisse	Validierung
Carbon Planning	Identifikation und Analyse von Kenngrößen zu den Emissionstreibern in der Betriebs- und Entsorgungsphase	
	■ Katalog von Kenngrößen zu Emissionstreibern in der Nutzungsphase	X
	■ Wirkungszusammenhänge der Emissionstreiber	X
	Entwicklung von Kalkulationsvorschriften und Messmethoden für die Kenngrößen	
	■ Leitfaden mit Messmethoden und -instrumenten aus Kundensicht	X
	■ Excel-Demonstrator zur Kalkulation und Überwachung der CO ₂ -Emissionen aus Kundensicht	X
Carbon Reporting	-	-
Carbon Controlling	Emissionsorientierte Erweiterung „traditioneller“ Planungs- und Investitionskalküle (Validierung)	
	■ Excel-Demonstrator zur erweiterten Investitionsrechnung für die Entsorgungsphase	X
	Identifikation und Bewertung von Maßnahmen zur Emissionsenkung	
	■ Erweiterbarer Katalog mit bewerteten Maßnahmen zur Emissionsenkung	X
	■ Leitfaden zur Planung und Steuerung der Maßnahmenumsetzung	X

Zusammenfassung der zu validierenden Ergebnisse der einzelnen Arbeitspakete (1/4)

Arbeitspaket 4

Emissionstreibern in der Betriebs- und Entsorgungsphase

Das Carbon Management von Kunden in der Inbetriebnahme-, Betriebs- und Entsorgungsphase eines Filters basiert auf der regelmäßigen Erfassung von Kenngrößen, die stark mit den CO₂-Emissionen des Filters korrelieren („**Emissionstreiber**“).

Der Filter selbst verursacht nur indirekt Emissionen, welche wiederum dem Kompressor zugeschrieben werden. Dieser muss den Differenzdruck ausgleichen und somit mehr leisten. Laut Experten sind für diesen Differenzdruck (gemessen in mbar) folgende Komponenten maßgeblich verantwortlich:

Emissionstreiber des Filtergehäuses	Emissionstreiber des Filtermediums
Durchmesser des Druckluftanschlusses	Größe des Filterelements
Strömungswiderstand	Hohlraumvolumen
Oberflächenrauigkeit	Physikalische Eigenschaften des Filtermediums
Gehäusegröße	Aufbau des Filterelements

Komponente	Teilkomponente	Bewertungsgröße	Gewichtung	Optimierung
Gehäuse	Anschlussmaße	Druckverlust	+++	Investition
	Strömungsführung	Druckverlust	+++	Investition
Filterpatrone	Strömungsführung	Druckverlust	+++	Investition
Filtermedium	Geforderte Effizienz	Druckverlust	+++	Labeling

Bewertung der Praxistauglichkeit (AP4)

Allgemeinheit

Im Rahmen der pA-Treffen und Expertengespräche wurden die Emissionstreiber des Druckluftfilters bestimmt. Die gewonnenen Daten sind ausschließlich für Partikelfilter anwendbar.

Lösungsmächtigkeit

Die Lösungsqualität der Emissionstreiber (Komponenten der Druckluftfiltration, die maßgeblich für die Druckdifferenz verantwortlich sind) ist speziell für Partikelfilter ausgelegt. Die Emissionstreiber für Partikelfilter sind als sehr wahrscheinlich für den Differenzdruck einzustufen.

Ressourcenschonung

Die Größen der Emissionstreiber sind nur unter Laborbedingungen zu erheben.

- Die Ergebnisse mussten auf die Anwendbarkeit hin angepasst werden. Es zeigte sich, dass die Emissionstreiber nur für Partikelfilter gelten.
- Jedoch konnten die gesammelten Ergebnisse für Partikelfilter bestätigt werden.

Zusammenfassung der zu validierenden Ergebnisse der einzelnen Arbeitspakete (2/4)



Arbeitspaket 5

Leitfaden: Messmethoden und -instrumente aus Kundensicht

Direkte Methoden	Indirekte Methoden
Messung mit und ohne Filter mittels Manometer	Kompressoren-Lastprofil
Messung mittels zwei Mess-Stellen, vor und nach dem Filter	Stromverbrauch
Strömungsmessung	

Im Praxis-Fokus:

- Wartungsintervall
- Überwachung der Druckluftanlage
- Excel-Demonstrator

Bewertung der Praxistauglichkeit (AP5)

Allgemeinheit

Die mit dem pA entwickelten Messmethoden können zum Teil in der Praxis angewendet werden. Die direkte Methode ist ein Verfahren, das in der Praxis einfach und kostengünstig angewendet werden kann. Hingegen ist die indirekte Methode nicht praxistauglich, da die Messgrößen zu unterschiedlichen Dimensionen besitzen, d.h. die Druckdifferenz kann mittels Stromaufnahmevergleich nicht bestimmt werden.

Lösungsmächtigkeit

- Die direkte Methode liefert, außer bei Anwendungsfehlern, den korrekten Wert der Druckdifferenz.
- Bei der indirekten Methode hängt die Lösungsqualität von der Konstanz der Einflussfaktoren ab. Bei einer Abweichung von den Laborbedingungen ist keine Aussage zu treffen.
- In beiden Fällen muss das Filtermedium voll benetzt sein, ansonsten ist keine Aussage möglich.

Ressourcenschonung

- Bei der direkten Methode wird mittels Manometer direkt am Druckluftfilter gemessen. Manometer sind je nach Ausführung günstig zu erwerben. Die eigentliche Messung benötigt lediglich wenige Minuten Personaleinsatz.
- Die indirekte Methode benötigt für eine ansatzweise richtige Druckdifferenzbestimmung sehr teure Messgeräte. Diese sind auch nur in Kombination mit konstanten Laborbedingungen zielführend.

- Die Ergebnisse wurden im Laufe der Validierung überarbeitet, es zeigte sich, dass indirekte Messmethoden unter Laborbedingungen funktionieren können, nicht aber im realen Einsatz. Dies ist begründet durch den enormen Unterschied der Größen (kW im Vergleich zu mbar). Der Kompressor muss schließlich nur geringe Mengen an Energie für die Kompensation des Druckluftfilters aufbringen, dessen Druckdifferenz macht folglich nur wenige % des Gesamtenergiebedarfs aus.
- Ein weiteres Problem stellen die unterschiedlichen Bedingungen der Messung dar. Bei geringen Abweichungen (Alter der Anlage, Temperatur, Verschleiß, Ansaugluft,...) ist keine präzise Aussage über die Druckdifferenz möglich. Demzufolge sind die direkten Methoden für die Praxis das geeignete Mittel um Druckdifferenzen zu bestimmen.

Zusammenfassung der zu validierenden Ergebnisse der einzelnen Arbeitspakete (3/4)

Arbeitspaket 6

Ökologieorientierte Erweiterung traditioneller Planungs- und Investitionskalküle

- Wie wird aktuell in der Praxis bewertet?
- Spielen ökologieorientierte Aspekte eine Rolle?
- Gibt es andere Ansätze die verfolgt werden?
- Umsetzungspotenzial ökologieorientierter Investitions- und Planungskalküle

Bewertung der Praxistauglichkeit (AP6)

Allgemeinheit

Mithilfe der Fallstudienunternehmen konnte der Tenor aus dem pA, das ökologieorientierte Investitionsrechnung in der Praxis von kmU noch nicht stattfindet, bestätigt werden. Jedoch wurden die Ansätze zur Einführung ökologieorientierter Investitionsrechnung als sinnvolle Maßnahme innerhalb der Fallstudienunternehmen angesehen.

Lösungsmächtigkeit

Die Lösungsqualität der Investitionsrechnung hängt von den verfügbaren Daten ab, je weniger Carbon Accounting im Unternehmen stattfindet, desto schlechter fällt die Anwendbarkeit der erweiterten Investitionsrechnung aus.

Ressourcenschwäche

Die ökologieorientierte Investitionsrechnung stellt eine Erweiterung klassischer Investitionsrechnungsverfahren dar. Wodurch die eigentliche Umsetzung einfach und kostengünstig zu realisieren wäre, jedoch mangelt es in der Praxis an den ökologischen Daten.

- Es zeigte sich, dass obwohl viele Unternehmen ökologische Ziele verfolgen, viele keine Datengrundlage bereitstellen können um diese schließlich auch quantitativ zu überwachen.
- Sobald jedoch ökologische Ziele in ihrer Wertigkeit (sozial und finanziell) zulegen, ist eine Erweiterung der klassischen Investitionsziele in Form der vorgestellten ökologieorientierten Investitionsrechnung für kmU möglich.

Zusammenfassung der zu validierenden Ergebnisse der einzelnen Arbeitspakete (4/4)

Arbeitspaket 7

Identifikation und Bewertung von Maßnahmen zur Emissionssenkung

- Erweiterbarer Katalog mit bewerteten Maßnahmen zur Emissionssenkung

Maßnahmenkatalog	
Wärmetauscher	Revision des Kompressors
Leckagen am Kompressor	Alternativen zur Druckluft (z.B. elektrische Verbraucher)
Leckagen im Leitungsnetz	Umgang (ökologisch und ökonomisch)
Leckagen an den Verbrauchsstellen	Umgang mit Druckluft (Mitarbeiterschulung)
Druckniveau einstellen	Automatisierung Druckluftsteuerung
Brauchwassererwärmung	Wartung der gesamten Anlage
Leerlauf und Abschaltung optimieren	Umgebungsbedingungen optimieren
Wahl des richtigen Kompressors	Anwender schulen (Druckluftbeauftragung)
Neuanlage	Druckluftaufbereitung
Druckluftüberwachung (Monitoring)	

- Leitfaden zur Planung und Steuerung der Maßnahmenumsetzung
 - Planung: operative und strategisch, Budgetfestlegung
 - Steuerung: Kontrolle, Vergleichswerte, Gegenmaßnahmen, Reporting

Bewertung der Praxistauglichkeit (AP7)

Allgemeinheit

Der Maßnahmenkatalog wurde gemeinsam mit dem pA erarbeitet und anschließend mithilfe der Fallstudienunternehmen validiert. Alle Maßnahmen sind auf die Praxis anwendbar, allein das Budget ist ausschlaggebend für deren Umsetzung. Die Beschreibungen zur Wirkung, Umfang und CO₂-Ersparnis sind individuell anzupassen.

Lösungsmächtigkeit

Die Lösungsqualität des Maßnahmenkatalogs wird durch die zu Verfügung stehenden Ressourcen definiert. Ein wichtiger Faktor ist der Stellenwert der Druckluftanlage innerhalb des Unternehmens. I.d.R. ist eine Anlage ein über die Jahre gewachsenes Gebilde dem relativ wenig Beachtung geschenkt wird, wodurch es zu Handlungsbedarf in Form des Maßnahmenkatalogs kommt.

Ressourcenschwäche

Die Maßnahmen unterscheiden sich erheblich in ihrem Umfang und Einsparpotential. Je nach ökologischer Ausrichtung sowie Budget sind die Maßnahmen zu wählen. Hierfür sind die Ergebnisse aus der ökologieorientierten Investitionsrechnung hilfreich.

- Die Bewertung zeigte, dass viele der Fallstudienunternehmen die Maßnahmen umsetzen werden bzw. bereits umgesetzt haben.
- Jedoch wurde deutlich, dass der Stellenwert der Druckluftanlage oftmals erst in den Vordergrund rückt, wenn diese nicht ordnungsgemäß funktioniert, solange wird Wartung und Investition in die Zukunft verlagert.

Vorgehen

- Interview
- Vor-Ort-Besichtigung

Technische Fragen

Anzahl der Kompressoren, Art, Auslastung

Anzahl der Druckluftstränge, Druckniveau, Druckluftqualität

Sind Druckniveau und Druckluftqualität an den Bedarf angepasst?

Anzahl der zugehörigen Filter, Filterqualität

Anzahl der Trockner, Trocknerarten

Anzahl Verbraucher, mittlere Last, Spitzenlast

Länge der Verrohrungen, Durchmesser und Anzahl Krümmen, ist Druckverlust der Rohleitungen bekannt?

Übliche Wartungsintervalle, werden diese eingehalten?

Werden Leckagetests durchgeführt, wie und wann?

Welche Maßnahmen (aus dem Maßnahmenkatalog) wurden bisher umgesetzt, sind in Planung oder sind zu vernachlässigen?

Investitionstheoretische Fragen

Ist Ökologieorientierung Teil Ihrer Unternehmensphilosophie?

Welche primären Ziele werden durch die Berücksichtigung ökologischer Aspekte verfolgt (z.B. rechtliche Auflagen, freiwillige Umweltstandards, Kundenanforderungen, Wettbewerbsvorteile gegenüber Konkurrenten, Image, ...)

Arbeiten Sie mit Unternehmen Ihrer vor- und nachgelagerten Wertschöpfungsstufen zusammen, um nachhaltigere Lösungen auf der gesamten Wertschöpfungskette zu identifizieren?

Woher stammen die primären Anregungen/Impulse speziell für ökologieorientierte Investitionsvorhaben (auch Umweltschutzmaßnahmen) in Ihrem Unternehmen?

- Top Down (zentral) (z. B.: Management gibt Umweltschutzziele für konkrete Unternehmensbereiche vor)
- Bottom Up (dezentral) (z. B.: Mitarbeiter erkennt Energieeinsparpotentiale)

Welche Rollen sind in Ihrem Unternehmen für die Entscheidung über Umweltschutzmaßnahmen / ökologieorientierte Investitionen zuständig? (z.B. Umweltmanager, Controller, Geschäftsleitung, ...)

Welche Daten werden hinsichtlich der Umweltbelastung Ihres Unternehmens bzw. Ihrer Produkte/Leistungen erhoben? z.B. (Treibhausgase, Schadstoffe in Außenluft, Schadstoffe in Innenräumen, Abwasser, Abfälle, Diffuse Nähr- und Schadstoffeinträge, Pestizide, Lärm, Verbrauch mineralischer Rohstoffe inklusive fossiler Energieträger, Verbrauch biotischer Rohstoffe, Wasserverbrauch, Naturraumbeanspruchung)

Aus welchen Quellen werden Daten zur Umweltbelastung herangezogen? Interne Erfassung über Controlling-Instrumente
Externe Referenzwerte (z. B. vom Umweltbundesamt, VDMA)

Haben Sie bisher spezielle Methoden zur Integration ökologischer Kriterien in die Investitionsbewertung angewandt und wenn ja, welche? (z. B.: Umweltcheckliste, Umweltkostenrechnung etc.)

Auswertung Interviews & Vor-Ort-Besichtigung

Kompressor	Art
	Auslastung
Druckluftstränge	Druckniveau
	Druckluftqualität
	Volumenstrom
Druckluftfilter	Anzahl je Strang
	Verteilung
Trockner	Anzahl
	Art
Verrohrung	Länge
	Durchmesser
	Krümmen
	Druckverlust
Wartungsintervalle	Umfang
Leckagetest	Umfang, Vorgehen

Kriterien für die Analyse der technischen Gegebenheiten:

Diese Kriterien sind notwendig, um eine Einschätzung der individuellen Gegebenheiten zu erlangen. In der Praxis sind Druckluftanlagen oftmals über Jahre gewachsene Anlagen, die keiner Struktur folgen. Sie dienen zur ersten subjektiven Einschätzung der Anlagen.

Auswertung Interviews & Vor-Ort-Besichtigung

Kriterien für die Analyse der bisherigen Investitionsbewertung:

- 1 Ist Ökologieorientierung Teil Ihrer Unternehmensphilosophie, gibt die Geschäftsführung die Ziele vor?
- 2 Welche primären Ziele werden durch die Berücksichtigung ökologischer Aspekte verfolgt (z.B. rechtliche Auflagen, freiwillige Umweltstandards, Kundenanforderungen, Wettbewerbsvorteile gegenüber Konkurrenten, Image, ...)
- 3 Arbeiten Sie mit Unternehmen Ihrer vor- und nachgelagerten Wertschöpfungsstufen zusammen, um nachhaltigere Lösungen auf der gesamten Wertschöpfungskette zu identifizieren?
- 4 Woher stammen die primären Anregungen/Impulse speziell für ökologieorientierte Investitionsvorhaben (auch Umweltschutzmaßnahmen) in Ihrem Unternehmen?
Top Down (zentral) (z. B.: Management gibt Umweltschutzziele für konkrete Unternehmensbereiche vor)
Bottom Up (dezentral) (z. B.: Mitarbeiter erkennt Energieeinsparpotentiale)
- 5 Welche Rollen sind in Ihrem Unternehmen für die Entscheidung über Umweltschutzmaßnahmen / ökologieorientierte Investitionen zuständig? (z.B. Umweltmanager, Controller, Geschäftsleitung, ...)
- 6 Welche Daten werden hinsichtlich der Umweltbelastung Ihres Unternehmens bzw. Ihrer Produkte/Leistungen erhoben? z.B. (Treibhausgase, Schadstoffe in Außenluft, Schadstoffe in Innenräumen, Abwasser, Abfälle, Diffuse Nähr- und Schadstoffeinträge, Pestizide, Lärm, Verbrauch mineralischer Rohstoffe inklusive fossiler Energieträger, Verbrauch biotischer Rohstoffe, Wasserverbrauch, Naturraumbeanspruchung)
- 7 Aus welchen Quellen werden Daten zur Umweltbelastung herangezogen? interne Erfassung über Controlling-Instrumente
Externe Referenzwerte (z. B. vom Umweltbundesamt, VDMA)
- 8 Haben Sie bisher spezielle Methoden zur Integration ökologischer Kriterien in die Investitionsbewertung angewandt und wenn ja, welche? (z. B.: Umweltcheckliste, Umweltkostenrechnung etc.)

Auswertung Interviews & Vor-Ort-Besichtigung

Kriterien für die Analyse der bisher umgesetzten Maßnahmen:

- 1 Ist ein Wärmetauscher vorhanden? Falls ja, welche Spezifikationen besitzt dieser? Was hat die Maßnahme an CO2 bzw. Kosten eingespart?
- 2 Werden Leckagen am Kompressor aufgedeckt? Regelmäßig, welchen Umfang machen diese aus? Kosten zur Einsparung?
- 3 Wie werden Leckagen im Leitungsnetz entdeckt? Welches Ausmaß haben die Leckagen?
- 4 Werden auch die Verbrauchsstellen kontrolliert, auch hier sind Leckagen möglich. Welche Maßnahmen werden ergriffen bzw. wurden ergriffen
- 5 Ist das richtige Druckniveau für die jeweiligen Verbraucher vorhanden oder wird z.B. auf 12 bar verdichtet und dann auf 7 bar minimiert ?
- 6 Wird die Abwärme vom Kompressor für die Brauchwassererwärmung genutzt? Falls ja, welche Einsparungen bzw. Kosten hat dies verursacht?
- 7 Findet eine Steuerung (Leerlauf und Abschaltung) statt?
- 8 Wie alt ist der Kompressor? Wird ein Austausch in Erwägung gezogen? Falls ja, was für Eigenschaften werden betrachtet?
- 9 Wann wurde die Anlage erstellt? Finden Überlegungen zu einer Neuplanung statt?
- 10 Findet eine Druckluftüberwachung statt? Monitoring an mehreren Stellen?
- 11 Wann fand die letzte Revision des Kompressors statt? Gibt es eine regelmäßige Wartung?
- 12 Finden auch Alternativen zur Druckluft Anwendung (z.B. elektrische Werkzeuge) oder nutzt man dieses Medium konsequent?
- 13 Wird mit Druckluft ökologisch und ökonomisch umgegangen? Z.B. kein Ausblasen der Werkhalle.
- 14 Wie wird die Druckluft gesteuert? Intelligente Druckluftsteuerung vorhanden?
- 15 Wann wurde die Anlage das letzte mal gewartet?
- 16 Wurde die Installation an die Umgebungsbedingungen angepasst? Leitungsverlegung, Kompressor-Standort, etc.
- 17 Werden die Anwender geschult oder ist niemand für die Anlage verantwortlich?
- 18 Wird die Filtereinheit regelmäßig gewartet und das Filtermedium ausgetauscht?

Ergebnisse der Vor-Ort-Validierung – Hübner

Maßnahme	Umsetzung
Ist ein Wärmetauscher vorhanden? Falls ja, welche Spezifikationen besitzt dieser? Was hat die Maßnahme an CO2 bzw. Kosten eingespart? Falls nein, wird dies in nächster Zeit angestrebt?	Nein, aber in Planung, Momentan sind 5 Kompressoren im Einsatz, die einen Druckluftstrang versorgen. Entsprechende Steuerung ist vorhanden. Alle erfassten Daten werden in zentraler Datenbank gespeichert und sind im Leitstand abrufbar. Es wird derzeit über erdgasgetriebene Kompressoren nachgedacht.
Werden Leckagen am Kompressor aufgedeckt? Regelmäßig, welchen Umfang machen diese aus? Kosten zur Einsparung?	Leckagefreiheit bei Hübner gegeben. Ständige Kontrolle. Stromverbrauch, Volumenstrom, Druckniveau, Temperatur usw. werden zentral erfasst und am Leitstand angezeigt. Differenzdrücke an den Filtern jedoch nicht!
Wie werden Leckagen im Leitungsnetz entdeckt? Welches Ausmaß haben die Leckagen?	s.o.
Werden auch die Verbrauchsstellen kontrolliert, auch hier sind Leckagen möglich. Welche Maßnahmen werden ergriffen bzw. wurden ergriffen	s.o.
Ist das richtige Druckniveau für die jeweiligen Verbraucher vorhanden oder wird z.B. auf 12 bar verdichtet und dann auf 7 bar minimiert ?	Druckniveau ist an Bedürfnisse angepasst. d.h. richtiges Druckniveau 7 bis 7,5 bar
Wird die Abwärme vom Kompressor für die Brauchwassererwärmung genutzt? Falls ja, welche Einsparungen bzw. Kosten hat dies verursacht?	teilweise, aber keine Daten.
Findet eine Steuerung (Leerlauf und Abschaltung) statt?	Ja und zwar optimal. Es wird auf Druckniveau nach der Aufbereitung geregelt. Frequenzregelung an den Kompressoren.
Wie alt ist der Kompressor? Wird ein Austausch in Erwägung gezogen? Falls ja, was für Eigenschaften werden betrachtet?	keine Angaben
Wann wurde die Anlage erstellt? Finden Überlegungen zu einer Neuplanung statt?	Erdgasgetriebene Kompressoren.

Ergebnisse der Vor-Ort-Validierung – Hübner

Maßnahme	Umsetzung
Findet eine Druckluftüberwachung statt? Monitoring an mehreren Stellen?	ja, Druck-, Strom- und Verbrauchsmonitoring und regelmäßige Kontrolle gegeben, aber kein Monitoring der Differenzdrücke an den Filtern
Wann fand die letzte Revision des Kompressors statt? Gibt es eine regelmäßige Wartung?	Jährlich
Finden auch Alternativen zur Druckluft Anwendung (z.B. elektrische Werkzeuge) oder nutzt man dieses Medium konsequent?	nicht relevant
Wird mit Druckluft ökologisch und ökonomisch umgegangen? Z.B. kein Ausblasen der Werkhalle.	ja
Wie wird die Druckluft gesteuert? Intelligente Druckluftsteuerung vorhanden?	ja
Wann wurde die Anlage das letzte mal gewartet?	s.o.
Wurde die Installation an die Umgebungsbedingungen angepasst? Leitungsverlegung, Kompressorstandort, etc.	zwei Zoll Druckluftnetz, 100 m Rohrleitung; einsträngige Anlage.
Werden die Anwender geschult oder ist niemand für die Anlage verantwortlich?	Ja, Energiebeauftragter vorhanden, der sich intensiv auch mit der Druckluftanlage befasst und Mitarbeiter schult.
Wir die Filtereinheit regelmäßig gewartet und das Filtermedium ausgetauscht?	Die Wartung erfolgt über einen festen Vertragspartner, der jedes Jahr (unabhängig vom Bedarf) die Anlage wartet und die Filter tauscht.
<p>Sehr gute Kontrolle der Anlage; Kompressordaten und Qualitätsdaten werden erfasst; Anregung zum zusätzlichen Monitoring des Differenzdruckes wurde gerne aufgenommen. Filterwechsel "on demand" wird als Unternehmensziel aufgenommen. Enge Zusammenarbeit mit der Fa. Postberg, Energieberatungsbüro insb. Druckluftenergie</p>	

Ergebnisse der Vor-Ort-Validierung – Hübner

Frage	Antwort
Ist Ökologieorientierung Teil Ihrer Unternehmensphilosophie?	ja
Welche primären Ziele werden durch die Berücksichtigung ökologischer Aspekte verfolgt (z.B. rechtliche Auflagen, freiwillige Umweltstandards, Kundenanforderungen, Wettbewerbsvorteile gegenüber Konkurrenten, Image, ...)	freiwillige Standards; Kosteneinsparung
Arbeiten Sie mit Unternehmen Ihrer vor- und nachgelagerten Wertschöpfungsstufen zusammen, um nachhaltigere Lösungen auf der gesamten Wertschöpfungskette zu identifizieren?	nicht auf Wertschöpfung bezogen aber mit Druckluftenergieberatung
<p>Woher stammen die primären Anregungen/Impulse speziell für ökologieorientierte Investitionsvorhaben (auch Umweltschutzmaßnahmen) in Ihrem Unternehmen?</p> <ul style="list-style-type: none"> – Top Down (zentral) (z. B.: Management gibt Umweltschutzziele für konkrete Unternehmensbereiche vor) – Bottom Up (dezentral) (z. B.: Mitarbeiter erkennt Energieeinsparpotentiale) 	Top Down
Welche Rollen sind in Ihrem Unternehmen für die Entscheidung über Umweltschutzmaßnahmen / ökologieorientierte Investitionen zuständig? (z.B. Umweltmanager, Controller, Geschäftsleitung, ...)	GF, Energiebeauftragter
Welche Daten werden hinsichtlich der Umweltbelastung Ihres Unternehmens bzw. Ihrer Produkte/Leistungen erhoben? z.B. (Treibhausgase, Schadstoffe in Außenluft, Schadstoffe in Innenräumen, Abwasser, Abfälle, Diffuse Nähr- und Schadstoffeinträge, Pestizide, Lärm, Verbrauch mineralischer Rohstoffe inklusive fossiler Energieträger, Verbrauch biotischer Rohstoffe, Wasserverbrauch, Naturraumbeanspruchung)	keine Angaben
Aus welchen Quellen werden Daten zur Umweltbelastung herangezogen? Interne Erfassung über Controlling-Instrumente. Externe Referenzwerte (z. B. vom Umweltbundesamt, VDMA)	keine Angaben
Haben Sie bisher spezielle Methoden zur Integration ökologischer Kriterien in die Investitionsbewertung angewandt und wenn ja, welche? (z. B.: Umweltcheckliste, Umweltkostenrechnung etc.)	Umweltkostenrechnung

Ergebnisse der Vor-Ort-Validierung – CS Instruments



Maßnahme	Umsetzung
Ist ein Wärmetauscher vorhanden? Falls ja, welche Spezifikationen besitzt dieser? Was hat die Maßnahme an CO2 bzw. Kosten eingespart? Falls nein, wird dies in nächster Zeit angestrebt?	Ja aber keine aussagekräftigen technischen Informationen. Momentan 14 KW Kompressor ölfrei.
Werden Leckagen am Kompressor aufgedeckt? Regelmäßig, welchen Umfang machen diese aus? Kosten zur Einsparung?	Leckagefreiheit bei CS gegeben (< 10%); der Rest ist prozessbedingt. Allerdings sind anderswo bis zu 30% Leckage üblich.
Wie werden Leckagen im Leitungsnetz entdeckt? Welches Ausmaß haben die Leckagen?	s.o.
Werden auch die Verbrauchsstellen kontrolliert, auch hier sind Leckagen möglich. Welche Maßnahmen werden ergriffen bzw. wurden ergriffen	s.o.
Ist das richtige Druckniveau für die jeweiligen Verbraucher vorhanden oder wird z.B. auf 12 bar verdichtet und dann auf 7 bar minimiert ?	Druckniveau an Bedürfnisse angepasst. d.h. richtiges Druckniveau
Wird die Abwärme vom Kompressor für die Brauchwassererwärmung genutzt? Falls ja, welche Einsparungen bzw. Kosten hat dies verursacht?	nein
Findet eine Steuerung (Leerlauf und Abschaltung) statt?	wie so oft üblich; Zweipunktsteuerung
Wie alt ist der Kompressor? Wird ein Austausch in Erwägung gezogen? Falls ja, was für Eigenschaften werden betrachtet?	keine Angaben
Wann wurde die Anlage erstellt? Finden Überlegungen zu einer Neuplanung statt?	keine Angaben

Ergebnisse der Vor-Ort-Validierung – CS Instruments



Maßnahme	Umsetzung
Findet eine Druckluftüberwachung statt? Monitoring an mehreren Stellen?	ja, Druckmonitoring und regelmäßige Kontrolle gegeben, aber kein Monitoring der Differenzdrücke an den Filtern
Wann fand die letzte Revision des Kompressors statt? Gibt es eine regelmäßige Wartung?	>Jährlich
Finden auch Alternativen zur Druckluft Anwendung (z.B. elektrische Werkzeuge) oder nutzt man dieses Medium konsequent?	nicht relevant
Wird mit Druckluft ökologisch und ökonomisch umgegangen? Z.B. kein Ausblasen der Werkhalle.	ja
Wie wird die Druckluft gesteuert? Intelligente Druckluftsteuerung vorhanden?	Zweipunktsteuerung
Wann wurde die Anlage das letzte mal gewartet?	s.o.
Wurde die Installation an die Umgebungsbedingungen angepasst? Leitungsverlegung, Kompressorstandort, etc.	Verbrauch ca. 30 - 40 m³/h; eineinhalb Zoll Druckluftnetz, 50 m Rohrleitung; einsträngige Anlage.
Werden die Anwender geschult oder ist niemand für die Anlage verantwortlich?	ja
Wir die Filtereinheit regelmäßig gewartet und das Filtermedium ausgetauscht?	Filtereinheit: grob, mittel, fein Aktivkohle, fein: regelmäßige Wartung.
<p>CS Instrument ist auch als Beratungsunternehmen für Energie und insbesondere Druckluftenergie tätig. Sehr gute Kontrolle der Anlage; Kompressordaten und Qualitätsdaten werden erfasst; Anregung zum zusätzlichen Monitoring des Differenzdruckes wurde gerne aufgenommen. Filterwechsel "on demand" wird als Unternehmensziel und Beratungsziel aufgenommen.</p>	

Ergebnisse der Vor-Ort-Validierung – CS Instruments

Frage	Antwort
Ist Ökologieorientierung Teil Ihrer Unternehmensphilosophie?	ja
Welche primären Ziele werden durch die Berücksichtigung ökologischer Aspekte verfolgt (z.B. rechtliche Auflagen, freiwillige Umweltstandards, Kundenanforderungen, Wettbewerbsvorteile gegenüber Konkurrenten, Image, ...)	Freiwilliges Erfüllen einer klimaneutralen Produktion (u.a. durch den Bau einer ökologieorientierten Fertigung).
Arbeiten Sie mit Unternehmen Ihrer vor- und nachgelagerten Wertschöpfungsstufen zusammen, um nachhaltigere Lösungen auf der gesamten Wertschöpfungskette zu identifizieren?	Nein, wird nicht berücksichtigt.
Woher stammen die primären Anregungen/Impulse speziell für ökologieorientierte Investitionsvorhaben (auch Umweltschutzmaßnahmen) in Ihrem Unternehmen? – Top Down (zentral) (z. B.: Management gibt Umweltschutzziele für konkrete Unternehmensbereiche vor) – Bottom Up (dezentral) (z. B.: Mitarbeiter erkennt Energieeinsparpotentiale)	Top Down, kleine Unternehmen werden i.d.R. von der Geschäftsführung gesteuert.
Welche Rollen sind in Ihrem Unternehmen für die Entscheidung über Umweltschutzmaßnahmen / ökologieorientierte Investitionen zuständig? (z.B. Umweltmanager, Controller, Geschäftsleitung, ...)	Alleinig der Geschäftsführer
Welche Daten werden hinsichtlich der Umweltbelastung Ihres Unternehmens bzw. Ihrer Produkte/Leistungen erhoben? z.B. (Treibhausgase, Schadstoffe in Außenluft, Schadstoffe in Innenräumen, Abwasser, Abfälle, Diffuse Nähr- und Schadstoffeinträge, Pestizide, Lärm, Verbrauch mineralischer Rohstoffe inklusive fossiler Energieträger, Verbrauch biotischer Rohstoffe, Wasserverbrauch, Naturraumbeanspruchung)	Es werden keine Daten erhoben, lediglich indirekt über den Stromverbrauch.
Aus welchen Quellen werden Daten zur Umweltbelastung herangezogen? Interne Erfassung über Controlling-Instrumente. Externe Referenzwerte (z. B. vom Umweltbundesamt, VDMA)	keine Angaben
Haben Sie bisher spezielle Methoden zur Integration ökologischer Kriterien in die Investitionsbewertung angewandt und wenn ja, welche? (z. B.: Umweltcheckliste, Umweltkostenrechnung etc.)	Nein

Ergebnisse der Vor-Ort-Validierung – Ehrler

Maßnahme	Umsetzung
Ist ein Wärmetauscher vorhanden? Falls ja, welche Spezifikationen besitzt dieser? Was hat die Maßnahme an CO2 bzw. Kosten eingespart? Falls nein, wird dies in nächster Zeit angestrebt?	Momentan alte Druckluftanlage; neue Anlage (70 KW Maschine) in Planung; in neuer Anlage ist Wärmetauscher vorgesehen
Werden Leckagen am Kompressor aufgedeckt? Regelmäßig, welchen Umfang machen diese aus? Kosten zur Einsparung?	momentan keine systematische Wartung bzw. Leckagekontrolle. Sporadische Reaktion, wenn Leckage hörbar sind.
Wie werden Leckagen im Leitungsnetz entdeckt? Welches Ausmaß haben die Leckagen?	s.o.
Werden auch die Verbrauchsstellen kontrolliert, auch hier sind Leckagen möglich. Welche Maßnahmen werden ergriffen bzw. wurden ergriffen	s.o.
Ist das richtige Druckniveau für die jeweiligen Verbraucher vorhanden oder wird z.B. auf 12 bar verdichtet und dann auf 7 bar minimiert ?	momentanes Druckniveau bei 8 bar; momentan nur für Steuerluft; d.h. richtiges Druckniveau
Wird die Abwärme vom Kompressor für die Brauchwassererwärmung genutzt? Falls ja, welche Einsparungen bzw. Kosten hat dies verursacht?	nein
Findet eine Steuerung (Leerlauf und Abschaltung) statt?	wie so oft üblich; Zweipunktsteuerung
Wie alt ist der Kompressor? Wird ein Austausch in Erwägung gezogen? Falls ja, was für Eigenschaften werden betrachtet?	alte Maschine; ca. 15 Jahre alt.
Wann wurde die Anlage erstellt? Finden Überlegungen zu einer Neuplanung statt?	in Arbeit

Ergebnisse der Vor-Ort-Validierung – Ehrler

Maßnahme	Umsetzung
Findet eine Druckluftüberwachung statt? Monitoring an mehreren Stellen?	nein; wird aber momentan für alte Anlage nachgerüstet; u.a. um neue Anlage zu optimieren.
Wann fand die letzte Revision des Kompressors statt? Gibt es eine regelmäßige Wartung?	Unbekannt. Nein.
Finden auch Alternativen zur Druckluft Anwendung (z.B. elektrische Werkzeuge) oder nutzt man dieses Medium konsequent?	momentan keine druckluftbetriebene Werkzeuge im Einsatz
Wird mit Druckluft ökologisch und ökonomisch umgegangen? Z.B. kein Ausblasen der Werkhalle.	gute Laborpraxis
Wie wird die Druckluft gesteuert? Intelligente Druckluftsteuerung vorhanden?	nein
Wann wurde die Anlage das letzte mal gewartet?	"lange her"
Wurde die Installation an die Umgebungsbedingungen angepasst? Leitungsverlegung, Kompressorstandort, etc.	nein. Durch bauliche Gegebenheiten momentan nicht optimal. 150 m 1 Zoll dann auf 1/2 Zoll.
Werden die Anwender geschult oder ist niemand für die Anlage verantwortlich?	nein; jeder ist verantwortlich
Wir die Filtereinheit regelmäßig gewartet und das Filtermedium ausgetauscht?	nein
Anregungen aus dem Interview werden gerne aufgenommen und so weit wie möglich bei der Konzeption der neuen Anlage berücksichtigt; insbesondere das Monitoring war bisher noch nicht im Fokus.	

Ergebnisse der Vor-Ort-Validierung – Ehrler

Frage	Antwort
Ist Ökologieorientierung Teil Ihrer Unternehmensphilosophie?	Ja, gerade Messtechnik trägt einen Beitrag dazu.
Welche primären Ziele werden durch die Berücksichtigung ökologischer Aspekte verfolgt (z.B. rechtliche Auflagen, freiwillige Umweltstandards, Kundenanforderungen, Wettbewerbsvorteile gegenüber Konkurrenten, Image, ...)	Freiwillige Ziele, Senkung der Emissionen in der Produktion.
Arbeiten Sie mit Unternehmen Ihrer vor- und nachgelagerten Wertschöpfungsstufen zusammen, um nachhaltigere Lösungen auf der gesamten Wertschöpfungskette zu identifizieren?	Nein
<p>Woher stammen die primären Anregungen/Impulse speziell für ökologieorientierte Investitionsvorhaben (auch Umweltschutzmaßnahmen) in Ihrem Unternehmen?</p> <ul style="list-style-type: none"> – Top Down (zentral) (z. B.: Management gibt Umweltschutzziele für konkrete Unternehmensbereiche vor) – Bottom Up (dezentral) (z. B.: Mitarbeiter erkennt Energieeinsparpotentiale) 	Top Down: Alle Maßnahmen werden durch die Geschäftsführung angestoßen.
Welche Rollen sind in Ihrem Unternehmen für die Entscheidung über Umweltschutzmaßnahmen / ökologieorientierte Investitionen zuständig? (z.B. Umweltmanager, Controller, Geschäftsleitung, ...)	Geschäftsführung
Welche Daten werden hinsichtlich der Umweltbelastung Ihres Unternehmens bzw. Ihrer Produkte/Leistungen erhoben? z.B. (Treibhausgase, Schadstoffe in Außenluft, Schadstoffe in Innenräumen, Abwasser, Abfälle, Diffuse Nähr- und Schadstoffeinträge, Pestizide, Lärm, Verbrauch mineralischer Rohstoffe inklusive fossiler Energieträger, Verbrauch biotischer Rohstoffe, Wasserverbrauch, Naturraumbeanspruchung)	Es werden keine Daten erhoben.
Aus welchen Quellen werden Daten zur Umweltbelastung herangezogen? Interne Erfassung über Controlling-Instrumente. Externe Referenzwerte (z. B. vom Umweltbundesamt, VDMA)	s.o.
Haben Sie bisher spezielle Methoden zur Integration ökologischer Kriterien in die Investitionsbewertung angewandt und wenn ja, welche? (z. B.: Umweltcheckliste, Umweltkostenrechnung etc.)	Nein, bisher werden nur klassische Verfahren, i.d.R. Kostenvergleiche angewendet.

Zusätzliche Auswertung

Mit Hilfe des pA konnten an Stellen wo keine Daten vorlagen, Beispieldaten generiert werden. Nachfolgend wurden die drei Maßnahmen exemplarisch angewendet:

- Messmethoden
- Investitionsrechnung
- Maßnahmenkatalog

Stromzusammenstellung

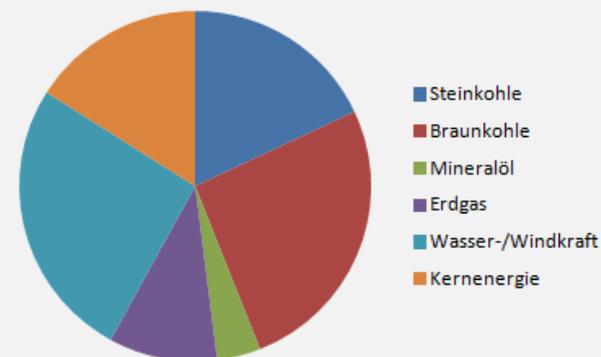
Strommix

Energieart	spez. CO ₂ -Emissionen ohne Vorkette [g/kWh _{netto}]	spez. CO ₂ -Emissionen inkl. Vorkette [g/kWh _{netto}]	Anteil	CO ₂ -Emissionen für geg. Energiemix [g/kWh _{netto}]
Steinkohle	894	931	18%	167,58
Braunkohle	1152	1175	26%	305,5
Mineralöl	776	859	4%	34,36
Erdgas	469	518	10%	51,8
Wasser-/Windkraft	0	32	26%	8,32
Kernenergie	0	11	16%	1,76

100%

Emissionsfaktor	
[g/kWh _{netto}]	569,32
[kg/kWh _{netto}]	0,56932

Strompreis [€/(kWh)]	0,15 €
----------------------	---------------



Ist-Aufnahme der Druckluftkomponenten

Ausstattung						
Kompressor			Druckbehälter			
kW	90		Fassungsvermögen	1000 l		
Förderleistung [in l/s]	270					
Betriebsdruck	7,5 bar					
Arbeitszustand			Leitungsnetz			
Auslastung	100%		Länge	1.000 m		
h/Woche	40		Querschnitt	3/4 "		
5/7 Arbeitswoche	5		Fassungsvermögen	1,14 m³		
Arbeitswochen	52			1.140 l		
	270 l/sec	0,27 m³/sec	0,03 kW/sec			0,004 €
	16.200 l/min	16,2 m³/min	1,5 kW/min			0,23 €
	972.000 l/hour	972 m³/hour	90 kW/hour			14 €
	7.776.000 l/day	7.776 m³/day	720 kW/day			108 €
	38.880.000 l/week	38.880 m³/week	3.600 kW/week			540 €
	2.021.760.000 l/year	2.021.760 m³/year	187.200 kW/year			28.080 €

Messmethoden

Direkte Methode: Messen der Druckdifferenz am Druckluftfilter

Ergebnis: 400mbar (entspricht einer Mehrbelastung von 5,3% bei regulärem 7,5 bar Systemdruck)

Umrechnung mittels Strommix und Auslastung ergibt eine direkte Zurechnung der jährlichen Kosten sowie des CO₂-Ausstoßes.

Entspricht 1497,60 € und 5,68 t CO₂

Indirekte Methode: Messen der indirekten Druckdifferenz mittels Auswertung der Stromaufnahme.

Ergebnis: 400mbar (entspricht einer Mehrbelastung von 5,3% bei regulärem 7,5 bar Systemdruck)

Umrechnung mittels Strommix und Auslastung ergibt eine direkte Zurechnung der jährlichen Kosten sowie des CO₂-Ausstoßes.

Entspricht 1497,60 € und 5,68 t CO₂

Messmethoden

Indirekte Methode: Messen der indirekten Druckdifferenz mittels Auswertung der Stromaufnahme.

Diese Methode erlaubt eine unpräzise Aussage über die Vorteilhaftigkeit eines Filters, jedoch ist eine Rückrechnung der Druckdifferenz nicht möglich. Gründe hierfür ist die zu ungenaue Messmöglichkeit (kW/h) sowie die Auswirkung von Druckdifferenzen im mbar Bereich.

Die Messungen werden zudem durch nicht konstante Einflussfaktoren wie Temperatur, Auslastung, ... negativ beeinträchtigt.

Messung (zwei mal im Monat)	schlechter Filter			guter Filter		
	Auslastung	kW Verbrauch	gewichteter Verbrauch	Auslastung	kW Verbrauch	gewichteter Verbrauch
1	90	410	369	87	239	207,93
2	82	605	496,1	78	678	528,84
3	80	435	348	83	843	699,69
4	96	984	944,64	92	565	519,8
5	74	589	435,86	84	640	537,6
6	79	570	450,3	72	877	631,44
7	90	442	397,8	90	608	547,2
8	86	533	458,38	74	887	656,38
9	90	253	227,7	74	270	199,8
10	73	535	390,55	84	781	656,04
11	92	413	379,96	74	513	379,62
12	95	949	901,55	88	589	518,32
13	74	421	311,54	87	491	427,17
14	88	516	454,08	97	803	778,91
15	89	944	840,16	88	637	560,56
16	86	600	516	96	362	347,52
17	87	902	784,74	90	246	221,4
18	73	781	570,13	79	384	303,36
19	90	541	486,9	83	867	719,61
20	91	353	321,23	84	887	745,08
21	93	832	773,76	99	505	499,95
22	86	959	824,74	100	848	848
23	100	351	351	76	551	418,76
24	80	444	355,2	84	420	352,8
			12389,32			12305,78

Investitionsrechnung

Vergleich der unterschiedlichen Investitionsmöglichkeiten (Druckluftfilter)

Filter 1: 150 mbar		Filter 2: 200 mbar		Filter 3: 250 mbar		Filter 4: 500 mbar	
Zinssatz	5%	Zinssatz	5%	Zinssatz	5%	Zinssatz	5%
Nutzungsdauer	2	Nutzungsdauer	2	Nutzungsdauer	2	Nutzungsdauer	2
Filterpreis	2000	Filterpreis	1500	Filterpreis	1000	Filterpreis	500
Kapitalwert	5.675,20 €	Kapitalwert	6.122,99 €	Kapitalwert	6570,77551	Kapitalwert	6809,714286
normiert	0,83	normiert	0,90	normiert	0,96	normiert	1,00
Umweltleistung	kg/kWh	Umweltleistung	kg/kWh	Umweltleistung	kg/kWh	Umweltleistung	kg/kWh
UL pro Periode	319,730112	UL pro Periode	426,306816	UL pro Periode	532,88352	UL pro Periode	1065,76704
UL gesamt	639,460224	UL gesamt	852,613632	UL gesamt	1065,76704	UL gesamt	2131,53408
normiert	0,3	normiert	0,4	normiert	0,5	normiert	1
Öko-Effizienz	8,87	Öko-Effizienz	7,18	Öko-Effizienz	6,17	Öko-Effizienz	3,19
UL pro Periode (bisher)	15986,5056						
Entlastung pro Periode	15666,77549	Entlastung pro Periode	15560,19878	Entlastung pro Periode	15453,62208	Entlastung pro Periode	14920,73856
Entlastung gesamt	31333,55098	Entlastung gesamt	31120,39757	Entlastung gesamt	30907,24416	Entlastung gesamt	29841,47712

Investitionsrechnung

Subjektive Bewertung der unterschiedlichen Investitionsalternativen

Bewertungsmaßstab Punkteskala: 1 - 10 Gewichtung in Prozent		Filter 1: 150 mbar		Filter 2: 200 mbar		Filter 3: 250 mbar		Filter 4: 500 mbar	
Kriterien	Gewichtung	Punkte	Wert	Punkte	Wert	Punkte	Wert	Punkte	Wert
Preis	50%	2	10	3	15	5	25	6	30
Filterqualität	30%	9	27	8	24	5	15	1	3
Hersteller	20%	9	18	7	14	6	12	1	2
Kriterium 4	0%		0		0		0		0
Kriterium 5	0%		0		0		0		0
Kriterium 6	0%		0		0		0		0
Kriterium 7	0%		0		0		0		0
Kriterium 8	0%		0		0		0		0
Kriterium 9	0%		0		0		0		0
Kriterium 10	0%		0		0		0		0
Gesamt	100%								
Nutzwert		55		53		52		35	
normiert		1		0,963636364		0,945454545		0,636363636	

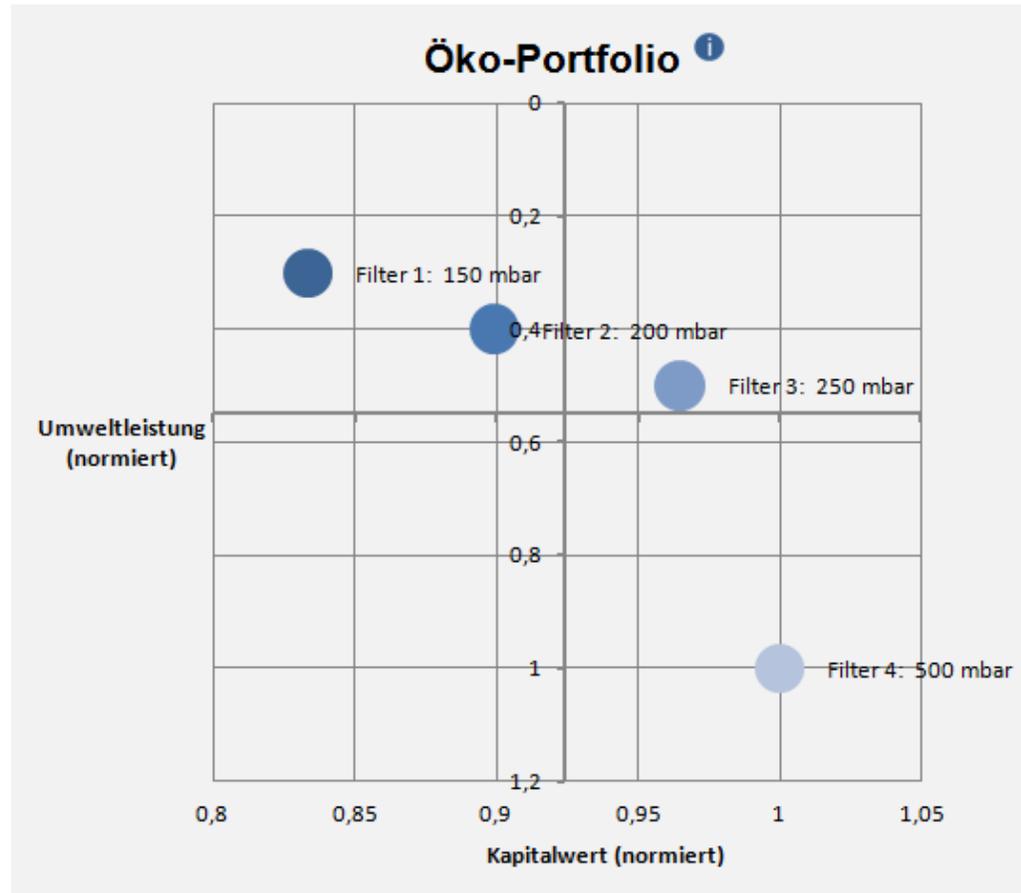
Investitionsrechnung

Auswertung der Investitionsalternativen anhand klassischer sowie ökologieorientierter Methoden

	Filter 1: 150 mbar	Filter 2: 200 mbar	Filter 3: 250 mbar	Filter 4: 500 mbar
Kapitalwert	5.675,20 €	6.122,99 €	6.570,78 €	6.809,71 €
Umweltleistung	639,46	852,61	1065,77	2131,53
Umweltentlastung (gesamt)	31333,55	31120,40	30907,24	29841,48
Öko-Effizienz	8,87	7,18	6,17	3,19
Nutzwert	55	53	52	35
Mittelwerte				
Kapitalwert \emptyset	6.294,67 €			
Umweltleistung \emptyset	1172,34			
Nutzwert \emptyset	48,75			
Mittelwerte (normiert)				
Kapitalwert \emptyset	0,92			
Umweltleistung \emptyset	0,55			
Nutzwert \emptyset	0,89			

Investitionsrechnung

Darstellung des Öko-Portfolios, zur vereinfachten Übersicht der besten Investitionen



Maßnahmenkatalog

Das Unternehmen hat folgende Maßnahmen zur Reduktion der CO₂-Emissionen umgesetzt:

Maßnahmen			
Wärmetauscher	✓	Revision des Kompressors	-
Leckagen am Kompressor	-	Alternativen zur Druckluft	✓
Leckagen im Leitungsnetz	✓	Umgang (ökologisch und ökonomisch)	-
Leckagen an den Verbrauchsstellen	-	Umgang mit Druckluft	✓
Druckniveau	✓	Automatisierung Druckluftsteuerung	-
Brauchwassererwärmung	-	Wartung der gesamten Anlage	-
Leerlauf und Abschaltung	-	Umgebungsbedingungen	-
Wahl des richtigen Kompressors	-	Anwender schulen	✓
Neuanlage	-	Druckluftaufbereitung	-
Druckluftüberwachung	✓		

Auswertung Maßnahmenkatalog (1/6)

Maßnahme	Berechnungsgrundlage					1
Handlungsfeld	X	Kompressor		Verbraucher		extern
		Leitung		Personal	X	allgemein
Priorität		mittel		hoch		sehr hoch
Umsetzung		sofort		kurzfristig		langfristig
Verwendetet Kompressor (Annahme: linearer Verlauf)						
Kompressor: 270 l/s; 90kW; 7,5 bar Betriebsdruck Druckluftspeicher: 1000l zzgl. Leitungsnetz: 350 l						
Strommix						
<p>Durchschnittlicher Energiemix:</p> <p>Strompreis: 0,15 € Stromkosten: (Strompreis * kW/Jahr)</p> <div style="display: flex; align-items: center;"> <ul style="list-style-type: none"> ■ Steinkohle ■ Braunkohle ■ Mineralöl ■ Erdgas ■ erneuerbare Energie ■ Kernenergie </div>						
Auslastung						
100 % 40 h/Woche 52 Wochen	270 l/s = 0,0250 kW/s 16.200 l/min = 1,50 kW/min		972.000 l/h = 90,00 kW/h 2.021.760 .000 l/Jahr = 2.021.760 m³/Jahr			
CO₂						106,58 t CO ₂

*Unternehmen mit 90 kW Kompressor, 100% Auslastung, Strommix (26% erneuerbare Energie, 74% konventionelle Energie)

Auswertung Maßnahmenkatalog (2/6)

Maßnahme	Wärmetauscher					2
Handlungsfeld	X	Kompressor		Verbraucher	X	extern
		Leitung		Personal		allgemein
Priorität		mittel		hoch	X	sehr hoch
Umsetzung	X	sofort		kurzfristig	X	langfristig
Beschreibung und Handlungsschritte						
90% der elektrischen Energie geht in Wärme verloren, deshalb ist die Installation eines Wärmetauschers sinnvoll. Abwärme wird durch einen Wärmetauscher dem Heizungssystem zugeführt. Der Aufwand richtet sich nach den örtlichen Gegebenheiten. Bei der Umsetzung stehen zuerst hohe Anfangsinvestition an, jedoch sinken mit dieser Maßnahme die Heizkosten.						
Umsetzung						
Bisherige Heizlösung im Normalfall konventionell mit Heizöl wird durch einen Wärmetauscher ergänzt						
Erwartete Kosten						
Installationskosten Wärmetauscher 12.000€ plus Zusatzmaßnahmen						
Erwarteter Nutzen & Einsparungen						
Erwartete Einsparungen pro Jahr: 10.704,87 € Amortisation setzt nach ca. 1,12 Jahren ein				$\frac{\text{nutzbare Energie (kW)} * \text{Stunden (h)} * \text{Heizölpreis (€)}}{\text{Heizwert Öl (kWh/l)} * \text{Heizungswirkungsgrad}}$		
CO₂						111,94 t CO ₂

*Unternehmen mit 90 kW Kompressor, 100% Auslastung, Strommix (26% erneuerbare Energie, 74% konventionelle Energie)

Auswertung Maßnahmenkatalog (3/6)

Maßnahme	Leckagen im Leitungsnetz					3
Handlungsfeld		Kompressor		Verbraucher		extern
	X	Leitung		Personal		allgemein
Priorität		mittel		hoch	X	sehr hoch
Umsetzung	X	sofort		kurzfristig	X	langfristig
Beschreibung und Handlungsschritte						
Leckagen sind Verbraucher, die 24/7 beschäftigt sind. Dieses Problem betrifft in der Regel das gesamte Rohrleitungsnetz. Die aufgespürten Leckagen müssen schnellstmöglich beseitigt werden (Rangfolge erstellen)						
Umsetzung						
Luftgeräusche wahrnehmen, die Verbindungsstellen mittels Seifenlauge, Leckage-Ortungsspray oder Ultraschallmessgeräte aufdecken. Ansonsten besteht mittels der Behältermethode die Möglichkeit den Leckageverlust zu bestimmen. Man misst die Zeit, bis der Druckluftbehälter bei abgeschalteten Kompressor benötigt um auf ein gewisses Niveau zu gelangen.						
Erwartete Kosten						
Installationskosten bei vielen Leckagen: Annahme 5.000 €						
Erwarteter Nutzen & Einsparungen						
Erwartete Einsparungen pro Jahr: 1733,33 €						
CO₂						6,58 t CO ₂

*Unternehmen mit 90 kW Kompressor, 100% Auslastung, Strommix (26% erneuerbare Energie, 74% konventionelle Energie)

Auswertung Maßnahmenkatalog (4/6)

Maßnahme	Alternativen zur Druckluft					4	
Handlungsfeld		Kompressor	X	Verbraucher		extern	
		Leitung	X	Personal	X	allgemein	
Priorität		mittel	X	hoch	X	sehr hoch	
Umsetzung		sofort	X	kurzfristig	X	langfristig	
Beschreibung und Handlungsschritte							
elektrische Werkzeuge haben einen höheren Wirkungsgrad als Pneumatik-Antriebe (1kW benötigt 5-10 fache an Kompressorleistung)							
Umsetzung							
Austausch ist NICHT nur eine Kostenfrage: Arbeitssicherheit und Qualität darf nicht vernachlässigt werden, Rückbau bzw. teilweise stilllegen der Druckluftanlage, durch elektrische Geräte ersetzen							
Erwartete Kosten							
Umstieg: 2 Pneumatik-Antriebe (1 kW) werden durch 2 Elektro-Antriebe (1,5 kW) [20% Auslastung] Pneumatik = 4.000€ Elektro= 8.000€							
Erwarteter Nutzen & Einsparungen							
Verzicht auf Druckluft spart jährlich 436,80 € U.U. wird auch die Anschaffung eines leistungsstärkeren Kompressors vermieden							
CO₂							1,66t CO ₂

*Unternehmen mit 90 kW Kompressor, 100% Auslastung, Strommix (26% erneuerbare Energie, 74% konventionelle Energie)

Auswertung Maßnahmenkatalog (5/6)

Maßnahme	Umgang mit Druckluft				5	
Handlungsfeld	X	Kompressor	X	Verbraucher	X	extern
	X	Leitung	X	Personal	X	allgemein
Priorität		mittel		hoch	X	sehr hoch
Umsetzung		sofort	X	kurzfristig		langfristig
Beschreibung und Handlungsschritte						
Die Mitarbeiter müssen bezüglich des Umgangs mit Druckluft geschult werden, dass bedeutet das bei jeder Anwendung hinterfragt werden muss, ob es eine sinnvolle Alternative gibt. Denn unnötiges Druckluftspritzen muss vermieden werden, falls unvermeidlich gibt es hierfür spezielle Injektordüsen. Desweiteren soll Druckluft nicht zum Kühlen genutzt werden, Gebläse sind hierfür die bessere Kühlmethode. Außerdem ist es nicht nur eine rein ökologische Maßnahme, sondern trägt auch zur Gesundheitssteigerung bei, da beim Ausblasen der Werkhalle Schwebstoffe (Schadstoffe) in die Atemwege gelangen können.						
Umsetzung						
Besen und Kehrblech als Alternative für druckluftbasiertes Reinigen, falls Druckluftspritzen unverzichtbar, dann jedoch maximal mit 2 bar						
Erwartete Kosten						
keine						
Erwarteter Nutzen & Einsparungen						
Erwartete Einsparungen pro Jahr (5%) = 1.404,00€						
CO₂						5,33 t CO ₂

*Unternehmen mit 90 kW Kompressor, 100% Auslastung, Strommix (26% erneuerbare Energie, 74% konventionelle Energie)

Auswertung Maßnahmenkatalog (6/6)

Maßnahme	Anwender schulen					6																									
Handlungsfeld		Kompressor	X	Verbraucher	X	extern																									
		Leitung	X	Personal	X	allgemein																									
Priorität		mittel	X	hoch		sehr hoch																									
Umsetzung		sofort	X	kurzfristig	X	langfristig																									
Beschreibung und Handlungsschritte																															
Betriebsblindheit entgegenwirken: Wenn z.B. Arbeiten länger als gewöhnlich dauern, liegt das u.U. an unzureichenden Luftdruck z.B. verringert sich bei einem Druckluftabfall von 16% die Effizienz des Druckluftwerkzeugs erheblich																															
Umsetzung																															
Druckluftmessung (Manometer) an allen Werkzeugen - Identifikation der Kostentreiber																															
Erwartete Kosten																															
<table border="1"> <tr> <td>Druckluftwerkzeuge [Schleifmaschine]</td> <td>100% [6,3 bar]</td> <td></td> <td>84% [5,3]</td> </tr> <tr> <td>Arbeitsleistung</td> <td>100%</td> <td>-30%</td> <td>70%</td> </tr> <tr> <td>Arbeitszeit</td> <td>3</td> <td>-40%</td> <td>4,2</td> </tr> <tr> <td>Stundensatz</td> <td>30€</td> <td></td> <td>30€</td> </tr> <tr> <td>Kosten/Tag</td> <td>90€</td> <td></td> <td>126€</td> </tr> <tr> <td>Kosten/Jahr</td> <td>23.400€</td> <td>9.360€ (je Arbeiter)</td> <td>32.760€</td> </tr> </table>								Druckluftwerkzeuge [Schleifmaschine]	100% [6,3 bar]		84% [5,3]	Arbeitsleistung	100%	-30%	70%	Arbeitszeit	3	-40%	4,2	Stundensatz	30€		30€	Kosten/Tag	90€		126€	Kosten/Jahr	23.400€	9.360€ (je Arbeiter)	32.760€
Druckluftwerkzeuge [Schleifmaschine]	100% [6,3 bar]		84% [5,3]																												
Arbeitsleistung	100%	-30%	70%																												
Arbeitszeit	3	-40%	4,2																												
Stundensatz	30€		30€																												
Kosten/Tag	90€		126€																												
Kosten/Jahr	23.400€	9.360€ (je Arbeiter)	32.760€																												
Erwarteter Nutzen & Einsparungen																															
Beseitigung: 10 Arbeiter mit defekten Geräten/mangelnder Druckluft																															
CO₂							0 t CO ₂																								

*Unternehmen mit 90 kW Kompressor, 100% Auslastung, Strommix (26% erneuerbare Energie, 74% konventionelle Energie)

Auswertung Maßnahmenkatalog

Durch die sechs durchgeführten Maßnahmen reduzieren sich die ausgestoßenen Emissionen wie folgt:

	Druckluft	Heizkreislauf	Unternehmensebene
Keine Maßnahmen t=0	+106,58	+200,00	+306,58
Einsparung	-13,57	-111,94	-125,51
Netto CO ₂	93,01	88,06	181,07

Auf Unternehmensebene bedeutet dies eine Reduzierung der Emissionen um 41%.

Zusammenfassung der Ergebnisse (1/2)

AP	Inhalt	Teil der Validierung	Ergebnis
AP 4	Identifikation und Analyse von Kenngrößen zu den Emissionstreibern in der Betriebs- und Entsorgungsphase		
	■ Katalog von Kenngrößen zu Emissionstreibern in der Nutzungsphase	X	✓
	■ Wirkungszusammenhänge der Emissionstreiber	X	✓
AP 5	Entwicklung von Kalkulationsvorschriften und Messmethoden für die Kenngrößen		
	■ Leitfaden mit Messmethoden und -instrumenten aus Kundensicht	X	✓
	■ Excel-Demonstrator zur Kalkulation und Überwachung der CO ₂ -Emissionen aus Kundensicht	X	✓
AP 6	Emissionsorientierte Erweiterung „traditioneller“ Planungs- und Investitionskalküle		
	■ Excel-Demonstrator zur erweiterten Investitionsrechnung für die Entsorgungsphase	X	✓
AP 7	Identifikation und Bewertung von Maßnahmen zur Emissionssenkung		
	■ Erweiterbarer Katalog mit bewerteten Maßnahmen zur Emissionssenkung	X	✓
	■ Leitfaden zur Planung und Steuerung der Maßnahmenumsetzung	X	✓

Zusammenfassung der Ergebnisse (2/2)

Mit Hilfe der drei Fallstudienunternehmen sowie den zusätzlichen Daten konnten alle zu validierenden Ergebnisse des Forschungsprojekts validiert werden. Es zeigte sich, dass viele Unternehmen ein Carbon Management anstreben, jedoch wird dies in der Praxis nicht konsequent verfolgt. KMU stoßen meistens bei der Bestimmung der CO₂-Emissionen an ihre Grenzen. Die Praxis zeigte, dass CO₂ Emissionen dann eingespart werden, wenn daraus auch ein geldwerter Vorteil generiert werden kann. Ansonsten werden ökologische Ziele selten bis nie verfolgt.

Förderhinweis

Das IGF-Vorhaben 17992 N / 1 der Forschungsvereinigung Institut für Energie- und Umwelttechnik e.V. - IUTA, Bliersheimer Straße 60, 47229 Duisburg wurde über die AIF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.