

Studie

ROHR- WERKSTOFFE

EINE ÖKOLOGISCHE BEWERTUNG

Greenpeace
Fernkorngasse 10
1100 Wien

Dr. Thomas Belazzi
DI Franz Leutgeb

Wien, Dezember 1997

GREENPEACE

I. Inhaltsverzeichnis

A. Inhalt

I. Inhaltsverzeichnis	1
A. Inhalt.....	2
B. Abbildungen.....	2
C. Tabellen.....	3
II. Zusammenfassung.....	4
III. Warum diese Studie.....	8
IV. Inhalt und Methodik der FICU-Studie.....	10
A. Methode der „Kritischen Volumina“	10
B. SETAC-Methode	11
V. Ranking	12
A. Methodische Anmerkungen.....	12
1. Methode der „Kritischen Volumina“	13
a) Methodik.....	13
2. SETAC-Methode.....	15
a) Methodik.....	15
B. Ergebnisse.....	16
1. Methode der „Kritischen Volumina“	16
a) Basisdaten.....	16
b) Relative Umweltbelastung.....	17
c) Prozentsummen	19
d) Ranking	21
2. SETAC-Methode.....	22
a) Basisdaten.....	22
b) Relative Umweltbelastung.....	24
c) Belastungsklassen.....	27
d) Bester/schlechtester Werkstoff.....	30
e) Prozentsummen	31
f) Ranking	34

B. Abbildungen

Abb.1.a: Kritische Volumina, Prozentsummen (DN150).....	19
Abb.1.b: Kritische Volumina, Prozentsummen (DN250).....	20
Abb.1.c: Kritische Volumina, Prozentsummen (DN400).....	20
Abb.2.a: SETAC-Methode, Belastungsklassen (DN150).....	29
Abb.2.b: SETAC-Methode, Belastungsklassen (DN250).....	29
Abb.2.c: SETAC-Methode, Belastungsklassen (DN400).....	30
Abb.3.a: SETAC-Methode, Prozentsummen (DN150)	30
Abb.3.b: SETAC-Methode, Prozentsummen (DN250)	32
Abb.3.c: SETAC-Methode, Prozentsummen (DN400).....	33

C. Tabellen

<i>Tab.1.a: Kritische Volumina, Basisdaten (DN150)</i>	16
<i>Tab.1.b: Kritische Volumina, Basisdaten (DN250)</i>	16
<i>Tab.1.c: Kritische Volumina, Basisdaten (DN400)</i>	17
<i>Tab.2.a: Kritische Volumina, relative Umweltbelastungen (DN150)</i>	17
<i>Tab.2.b: Kritische Volumina, relative Umweltbelastungen (DN250)</i>	18
<i>Tab.2.c: Kritische Volumina, relative Umweltbelastungen (DN400)</i>	18
<i>Tab.3: Kritische Volumina, Prozentsummen</i>	19
<i>Tab.4: Kritische Volumina: Ranking</i>	21
<i>Tab.5.a: SETAC-Methode, Basisdaten (DN150)</i>	22
<i>Tab.5.b: SETAC-Methode, Basisdaten (DN250)</i>	23
<i>Tab.5.c: SETAC-Methode, Basisdaten (DN400)</i>	23
<i>Tab.6.a: SETAC-Methode, relative Umweltbelastungen (DN150)</i>	24
<i>Tab.6.b: SETAC-Methode, relative Umweltbelastungen (DN250)</i>	25
<i>Tab.6.c: SETAC-Methode, relative Umweltbelastungen (DN400)</i>	26
<i>Tab.7.a: SETAC-Methode, Belastungsklassen (DN150)</i>	27
<i>Tab.7.b: SETAC-Methode, Belastungsklassen (DN250)</i>	27
<i>Tab.7.c: SETAC-Methode, Belastungsklassen (DN400)</i>	28
<i>Tab.8.a: SETAC-Methode, bester/schlechtester Werkstoff (DN150)</i>	30
<i>Tab.8.b: SETAC-Methode, bester/schlechtester Werkstoff (DN250)</i>	31
<i>Tab.8.c: SETAC-Methode, bester/schlechtester Werkstoff (DN400)</i>	31
<i>Tab.9: SETAC-Methode, Ranking</i>	34

II. Zusammenfassung

Mit dieser Arbeit liegt nun erstmals ein - vollständig auf Industriedaten basierender - ökologischer Vergleich der wichtigsten Rohr-Werkstoffe vor. Die vom *Forschungsinstitut für Chemie und Umwelt der TU Wien (FICU)* im Auftrag der Niederösterreichischen Landesregierung erstellte Studie „Ökologischer Vergleich von Rohren aus verschiedenen Werkstoffen“ erhob in einer unter Mitwirkung der Anbieter erstellten Ökobilanz Umweltbelastungsdaten von sieben verschiedenen in Niederösterreich am Markt befindlichen Rohrmaterialien. In der Studie werden die Daten im Anschluß an die Sammlung (Sachbilanz) nach zwei verschiedenen Bewertungsmethoden bewertet- der Methode der Kritischen Volumina sowie der SETAC-Methode.

Die Studie verzichtet darauf, diese Bewertungsdaten so weit zu aggregieren, daß damit ein echter Vergleich und ein Ranking der Materialien nach ihrem Umweltverhalten möglich ist. Es wurde hier mit einem vereinfachten nutzwertanalytischen Ansatz ein Vergleich vorgenommen.

Tab.4: Kritische Volumina: Ranking (S.21)

Rang	DN 150	DN 250	DN 400
1	Guß	Faserzement	Faserzement
2	Faserzement PEHD	Beton PEHD Steinzeug	PEHD
3			Beton
4	PVC		Guß
5		Guß	Steinzeug PVC
6		PVC	

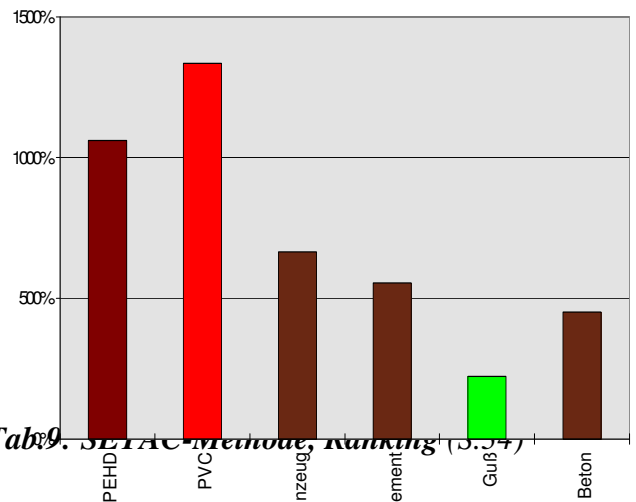
Die Auswertung zeigt, daß nach den beiden Bewertungsverfahren unterschiedliche Reihungen der Werkstoffe resultieren (Tab. 4, 9). Dies begründet sich durch die unterschiedliche Gewichtung der für die Bewertung ausgewählten Umweltbelastungen (siehe Seite 13). Beiden Rankings gemeinsam ist allerdings ein ganz klares Ergebnis: PVC ist bei beiden Bewertungsmethoden, und zwar bei allen drei untersuchten Rohrdimensionen das schlechteste Material.

Und bei beiden Methoden und bei allen Rohrdimensionen erreichte PVC diesen letzten Platz mit enormem Abstand vor dem jeweils zweitschlechtesten Material (Abb. 1.b, 3.b):

Abb.1.b: Kritische Volumina, Prozentsummen (DN250, S. 20)¹⁾

Abb.3.b: SETAC-Methode, Prozentsummen (DN250, S.32)²⁾

Fehler! Keine gültige Verknüpfung.



Tab.9. SETAC-Methode, Ranking (S.32)

Rang	DN 150	DN 250	DN 400
1	Guß	Guß	Guß
2	Faserzement	Beton	Beton
3	PEHD	Faserzement	Faserzement
4	PVC	Steinzeug	Steinzeug PEHD
5		PEHD	
6		PVC	PVC

¹⁾ Siehe auch die Abbildungen 1.a (DN150, S.19) und 1.c (DN400, S.20).

²⁾ Siehe auch die Abbildungen 3.a (S.32) und 3.c (S.33).

Auch bei der Mehrzahl aller Einzelkriterien beider Methoden ist PVC das absolut schlechteste aller Rohrmaterialien (Tab. 2.b, 8.b):

Tab.2.b: Kritische Volumina, relative Umweltbelastungen (DN250, S.18)³⁾

Kriterium	Meßeinheit	PEHD	PVC	Steinzeug	Faserzement	Guß	Beton
Rohstoffverbrauch	[% vom Schlechtesten]	6%	8%	49%	22%	34%	100%
Feste Abfälle	[% vom Schlechtesten]	8%	20%	39%	9%	100%	1%
Luft kritische Volumina	[% vom Schlechtesten]	59%	100%	35%	14%	2%	3%
Wasser kritische Volumina	[% vom Schlechtesten]	43%	100%	10%*)	10%*)	10%*)	10%*)

*) 10%: (konservativ) angenommener Wert (keine ausreichenden Daten verfügbar): Siehe Erläuterungen S.14

Tab.8.b: SETAC-Methode, bester/schlechtester Werkstoff (DN250, S.31)⁴⁾

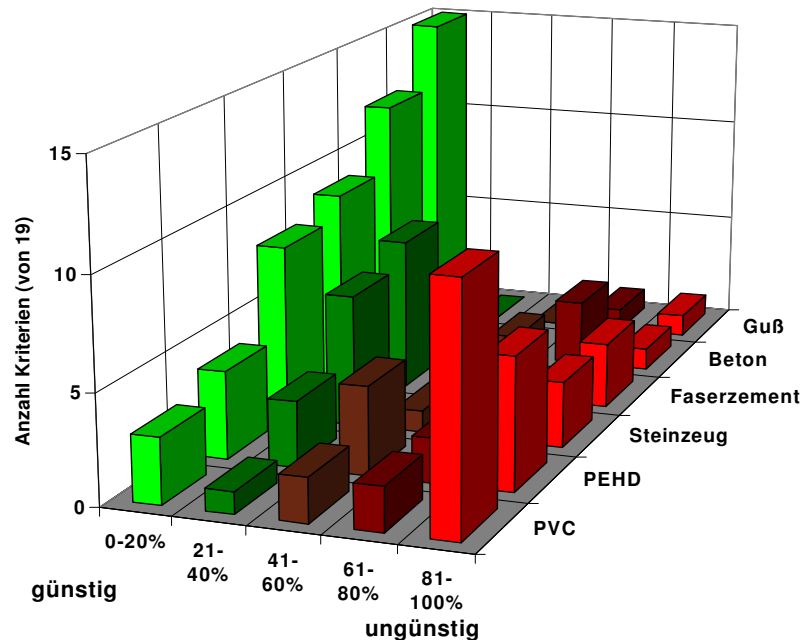
	Anzahl Kriterien					
	PEHD	PVC	Steinzeug	Faserzement	Guß	Beton
bester	2	1	4	0	6	6
schlechtester	3	9	2	3	1	1

³⁾ Siehe auch die Tabellen 2.a(DN150, S.17) und 2.c (DN400, S:18).

⁴⁾ Siehe auch die Tabellen 8.a (S.30) und 8.c (S.31)

Die folgende Abbildung 2.b zeigt noch überblicksweise das dramatisch schlechte Abschneiden von PVC im Vergleich zu allen anderen Rohrmaterialien:

Abb.2.b: SETAC-Methode, Belastungsklassen (DN250, S.29)⁵⁾



DAS ERGEBNIS DER ERSTEN ÖKOBILANZ FÜR ROHR-WERKSTOFFE ZEIGT SOMIT IN ALLER DEUTLICHKEIT:

- ***PVC IST DER - NACH ÖKOLOGISCHEN ASPEKTEN - MIT ABSTAND SCHLECHTESTE WERKSTOFF FÜR TRINK- UND ABWASSER-ROHRE!***
- ***DER PVC-BESCHLUSS DES NIEDERÖSTERREICHISCHEN LANDTAGS IST DURCH DIESE ÖKOBILANZ AUS FACHLICHER SICHT EINDRUCKSVOLL UNTERMAUERT WORDEN!***

⁵⁾ Siehe auch die Abbildungen 2.a (S.29) und 2.c (S29).

III. Warum diese Studie

Am 18. Februar 1993 faßte der Niederösterreichische Landtag einstimmig einen richtungsweisenden Beschluß. Der „ökologisch bedenkliche“ Werkstoff PVC stelle „ein bedeutendes Gesundheits- sowie Umweltrisiko dar“ und „sollte daher weitgehend durch umweltfreundlichere Produkte ersetzt werden“. Daher sollte PVC „kurzfristig... in Anwendungsbereichen für langlebige Produkte durch geeignete Alternativprodukte ersetzt werden.“

PVC-Beschluß des Niederösterreichischen Landtags (18.2.1993):

Polyvinylchlorid (PVC) ist sowohl bei der Produktion als auch bei der Verwendung und Verwertung ein ökologisch bedenklicher Werkstoff. Die Produktion von PVC ist energieintensiv und stellt aufgrund der dabei zu verwendenden, zu manipulierenden, zu transportierenden, zum Teil hoch reaktiven und toxischen Produktionsmittel (z.B. Vinylchlorid, DEHP, Chlorgas, Blei, Cadmium) ein bedeutendes Gesundheits- sowie Umweltrisiko dar.

PVC stört oder verhindert Restmüllbehandlungsverfahren wie z.B. die Pyrolyse. Bei Verbrennungsprozessen entstehen hochreaktive Verbindungen. Logistiksysteme zum sortenreinen PVC-Recycling sind für Hausmüll so gut wie nicht realisierbar.

PVC sollte daher aufgrund seiner ökologischen Bedenklichkeit weitgehend durch umweltfreundlichere Produkte ersetzt werden (z.B. Holz, Metall, Textilien, Papier).

Der Landtag von Niederösterreich hat sich im März 1990 bereits kurz mit dem Problem PVC auseinandergesetzt und die umweltgerechte Beschaffung auch im „neuen Niederösterreichischen Abfallwirtschaftsgesetz“ 1992 verankert. Das Land Niederösterreich bemüht sich daher im Beschaffungswesen und durch die Umweltberatungen in diesem Sinn um den verstärkten Einsatz von Alternativprodukten.

Die folgenden Punkte sollten im Hinblick auf weitere wissenschaftliche Erkenntnisse und die intensiver gewordene Diskussion auf Bundes- und Landesebene koordiniert und aktiv verfolgt werden:

- Kurzfristig sollte PVC in Anwendungsbereichen für langlebige Produkte (etwa Fenster und Fußbodenbeläge) durch geeignete Alternativprodukte ersetzt werden.*
- PVC muß im Verpackungswesen und in der Produktion von kurzlebigen Produkten absolut vermieden werden.*
- Die PVC-Industrie hat für geeignete Recyclingrücklaufschienen für langlebige PVC-Produkte zu sorgen.*

Die Landesregierung wird aufgefordert, im Sinn der Antragsbegründung zur Vermeidung von PVC sowohl im eigenen Wirkungsbereich als auch beim Bund und bei den Gemeinden aktiv zu werden.

Trotz dieses eindeutigen Beschlusses wird PVC nach wie vor massiv auch im öffentlichen Bereich eingesetzt, der absolut größte Anteil beim Kanalbau: In Österreich werden zur Zeit jährlich zwischen 1,4 und 1,6 Millionen Laufmeter Rohre verlegt, ein beträchtlicher Anteil davon sind noch immer PVC-Rohre.

Besonders viele Kanalrohre werden am Land verlegt. Und besonders für ländliche Gemeinden bedeutet der Kanalbau eine enorme Investition, die eine erhebliche finanzielle Belastung der Gemeindebürger nach sich zieht. Fachliche Unsicherheit und finanzieller Druck begünstigen daher scheinbar „billigste“ Lösungen, begünstigen PVC.

Da die Diskussionen für und gegen PVC nicht abrissen, wurde im Jahre 1996 von der „Koordinierungsstelle für Umweltschutz“ des Amtes der Niederösterreichischen Landesregierung eine Studie in Auftrag gegeben, die die Umweltbelastungen aller in Niederösterreich am Markt befindlichen Rohrmaterialien erheben und bewerten sollte.

Diese Studie wurde vom „Forschungsinstitut für Chemie und Umwelt“ (FICU) an der Technischen Universität Wien durchgeführt. Leiter des Instituts ist der Chemiker Univ.Doz. Andreas Windsperger.

Die Produzenten der untersuchten Rohrmaterialien waren an der Erarbeitung der Studie beteiligt: In allen Projekt-Arbeitsgruppen waren alle Materialanbieter, also auch die PVC-Industrie, vertreten und die verwendeten Daten stammen zum Teil von den Werkstoffvertretern in der Arbeitsgruppe selbst.

Die Ergebnisse der Studie lagen dann im Frühjahr 1997 vor. Und es wurde auch gleich ein „Handbuch“ für die Beschaffer, in dem die Ergebnisse verständlich zusammengefaßt und interpretiert werden sollten, angekündigt.

Diese Studie im Auftrag der Niederösterreichischen Landesregierung ist deshalb von so großer Bedeutung, da sie sich zum Ziel gesetzt hatte, die erste umfassende Ökobilanz über die verschiedenen eingesetzten Rohr-Werkstoffe zu erarbeiten. Ein wichtiges Vorhaben: den Beschaffern einen fundierten Vergleich der Umweltbelastungen der Materialien zur Verfügung zu stellen, damit in Hinkunft auch ökologische Kriterien bei der Beschaffung berücksichtigt werden!

Doch leider wurde das angekündigte „Beschaffer-Handbuch“ nie realisiert. Die FICU-Studie wurde entgegen der Vorankündigung im wesentlichen als unkommentierte Datensammlung (mit Vorworten von Politikern und Beamten) herausgegeben und an Interessenten verschickt.

Wir haben uns die Studie durchgelesen. Und mußten leider feststellen, daß kein Ranking ⁶⁾ der untersuchten Rohrmaterialien vorgenommen wurde! Und dies, obwohl in der Studie sowohl die Daten zur Umweltbelastung *wiedergegeben* (Sachbilanz), als auch diese Daten gleich mit zwei verschiedenen Bewertungsverfahren *bewertet* wurden. Trotz ausreichender Datengrundlage wurde also darauf verzichtet, die Ergebnisse auf den Punkt zu bringen und anzugeben, wie die Rohrmaterialien in einer Ökobilanz zueinander abschneiden.

Wir haben den fehlenden, den für den Praktiker so entscheidenden Abschlußschritt mit dieser Studie getan, den die Verfasser der niederösterreichischen Rohrstudie leider nicht durchführten: Streng auf der Basis der Daten der Studie haben wir den Gesamtvergleich zwischen den sieben Rohrmaterialien angestellt. Mit den üblichen Methoden haben wir das Ranking der verglichenen Materialien vorgenommen.

⁶⁾ mit Ausnahme eines Versuchs, durch Schattierungen das Besser- und Schlechterabschneiden der Werkstoffe bei verschiedenen SETAC-Kriterien darzustellen

Es gibt es bis heute keine andere Studie, die in so umfassender Art und Weise die Umweltbelastung der verschiedenen Materialien (PVC, Polyethylen (PEHD), Steinzeug, Faserzement, Beton, Guß) vergleicht.

Mit der FICU-Studie als Datengrundlage, kombiniert mit dieser hier vorliegenden Auswertung, liegt nun erstmals eine fundierte ökologische Entscheidungshilfe für Rohr-Anwender vor.

IV. Inhalt und Methodik der FICU-Studie

Die Sachbilanz gibt die in der Literatur ermittelten bzw. von den mitarbeitenden Herstellern zur Verfügung gestellten Belastungsdaten der Werkstoff- und der Rohrproduktion wieder. Diese Daten werden anschließend nach zwei verschiedenen Bewertungsmethoden bewertet: der Methode der kritischen Volumina und der SETAC-Methode.

A. Methode der „Kritischen Volumina“

Die Grundidee dieses Bewertungsverfahrens besteht darin, daß man Emissionen unterschiedlicher Gefährlichkeit dadurch vergleichbar macht, daß man die emittierten Schadstoffmengen bzw. -frachten *durch ihren jeweiligen (Luft-/Wasser-/etc.) Grenzwert dividiert*. Das Resultat dieser Division ergibt immer einen *Volumenwert*, man kann daher die errechneten Werte verschiedener Stoffe auch addieren (allerdings nur für jenes Umweltmedium, für das der Grenzwert gilt).

Ein gefährlicher Stoff hat einen niedrigen Grenzwert, die Division ergibt somit einen hohen Volumenwert, bei einem wenig gefährlichen Stoff ist es umgekehrt. Diesen Volumenwert kann man sich zur besseren Verständlichkeit so vorstellen: Es ist dies diejenige Menge an Wasser, Luft etc., mit der man die emittierte Stoffmenge verdünnen müßte/muß, damit die Endkonzentration gerade noch einen zulässigen Wert aufwiese. (Puristen werden so eine „laienhafte“ Vorstellung allerdings von sich weisen, sie ist aber trotzdem richtig.)

Zusätzlich zu den kritischen Luft- und Wasser-Volumina wurden von den Autoren der Studie der Rohstoffverbrauch und der Abfallanfall als zusätzliche Kriterien in die Betrachtung aufgenommen.

B. SETAC-Methode

Bei dieser Methode werden die in der Sachbilanz ermittelten Daten nach den Regeln der SETAC, einer internationalen Organisation, die sich mit der Weiterentwicklung und Vereinheitlichung der Ökobilanz-Methodik beschäftigt, zu bestimmten „Einwirkungskategorien“ klassifiziert bzw. zusammengefasst. Die Autoren der Studie haben folgende 7 Einwirkungsklassen zur Beschreibung der Umweltauswirkungen der Rohrwerkstoff und der Rohrproduktion ausgewählt:

1. Rohstoffverbrauch
2. Treibhauseffekt
3. Ozonabbau in der Stratosphäre
4. Humantoxizität und Ökotoxizität (Gesundheitsgefährdung von Menschen, atmosphärische Emissionen mit Schadwirkung auf Organismen und Ökosysteme)
5. Photooxidantienbildung
6. Versauerung von Gewässern und Böden
7. Gewässereutrophierung

(1) Rohstoffverbrauch

Folgende Rohstoffarten wurden in der vorliegenden Studie berücksichtigt:

- fossile (Kohle, Erdöl, Erdgas)
- nicht erneuerbare (mineralische)
- erneuerbare (Energie aus Wasserkraft)
- Uranerz (Nuklearenergieverbrauch)
- Wasser
- Sekundärrohstoffe

(2) Treibhauseffekt

Die Treibhauswirksamkeit (*GWP, Global Warming Potential*) einiger ausgewählter besonders treibhausrelevanter Gase (Kohlendioxid, Methan, Lachgas, einige ausgewählte Fluor-, Fluorchlor- und Chlorkohlenwasserstoffe (FKWs, FCKWs, CKWs) werden durch Multiplikation mit einem Faktor, der angibt, um wievielfach treibhauswirksamer das jeweilige Gas im Vergleich zu Kohlendioxid ist, zum CO₂-Äquivalent ermittelt. Diese CO₂-Äquivalente haben die gleiche Einheit (Volumen CO₂) und können daher auch zu einem einzigen Summenparameter addiert werden.

(3) Ozonabbau

Die Autoren haben keine relevanten Emissionen ermittelt, weshalb sie auf die Darstellung und Bewertung ozonabbauender Emissionen verzichteten. (Die Methodik ähnelt der beim Treibhauseffekt; statt CO₂ wird hier allerdings ein FCKW als Bezugsstandard verwendet.)

(4) Human- und Ökotoxizität

Auf eine generelle Beurteilung dieser Kategorie wurde von den Autoren wegen des Mangels an Expositionsdaten verzichtet. Zum Unterschied von der Kritische Volumina-Methode erlaubt die SETAC-Methode auch keinen Vergleich des toxischen Schadpotentials verschiedener Stoffe.

In dieser Kategorie wurden von den Autoren daher nur einige potentiell gesundheitsgefährdende (Staub, Kohlenmonoxid, Schwefeldioxid und atmosphärische Metallemissionen) sowie einige vorwiegend ökotoxisch wirksame atmosphärische Emissionen (Ammoniak/ Ammonium, Chlor- und Fluorwasserstoff, Stick- und Schwefeloxide, Schwefelwasserstoff) in die Betrachtung einbezogen.

(5) Photooxidantienbildung

Grundsätzlich wird photochemischer Smog (meist etwas vereinfachend als bodennahes Ozon bezeichnet) durch Reaktion von Stickoxiden mit ungesättigten Kohlenwasserstoffen unter Lichteinwirkung in der Atmosphäre gebildet. In der vorliegenden Studie wurden nur die ungesättigten Kohlenwasserstoffe durch Multiplikation mit einem Faktor, welcher angibt, um wievielfach photochemisch relevanter der jeweilige Kohlenwasserstoff im Vergleich zu Ethen (Äthylen) ist, zum Ethenäquivalentwert umgerechnet. Diese als „*Photochemisches Ozonbildungspotential*“ bezeichneten Größen können anschließend zu einem Summenwert addiert werden.

(6) Versauerung von Gewässern und Böden

Hier wurde die Säurewirkung von Schwefeldioxid, Stickoxiden, Ammoniak, Chlor- und Fluorwasserstoff in SO_2 (Schwefeldioxid)-Äquivalente umgerechnet und anschließend addiert (*Versauerungspotential*).

(7) Eutrophierung

Die Eutrophierung (Gewässerüberdüngung durch Zufuhr mineralischer Nährstoffe) wurde dadurch ermittelt, daß man die maximal aus den Nährstoffemissionen im Gewässer wachsende Algenmenge entsprechend dem durchschnittlichen Nährstoffgehalt von Algen ermittelt und die errechneten Werte anschließend addiert (*Eutrophierungspotential*).

V. Ranking

A. Methodische Anmerkungen

Die folgende Methodik des Ranking, die mit den nach zwei verschiedenen Methoden ermittelten Bewertungsdaten der niederösterreichischen Rohrstudie vorgenommen wurde, ist im Prinzip ein etwas vereinfachter nutzwertanalytisches Bewertungsalgorithmus. Es wird dabei auf das bei der Nutzwertanalyse übliche Gewichten (Einführen der normativen Ebene) verzichtet. Im Falle der kritischen Volumina wurden nicht vorhandene Wasserdaten einiger Werkstoffe durch extrem konservative Annahmen ergänzt.

Das Ranking nach den beiden sehr unterschiedlichen Bewertungsverfahren ergibt unterschiedliche Ergebnisse. Dies ist nicht sonderlich überraschend und hauptsächlich durch die unterschiedliche Anzahl und Aggregation der verwendeten Kriterien bedingt: Bei der Anwendung der SETAC-Methode in der FICU-Studie wurden mehr als die Hälfte der nicht weiter aggregierten Kriterien direkt oder indirekt luftbezogen gewählt, während bei der Methode der Kritischen Volumina die Luftbelastung in aggregierter Form nur eines von vier Kriterien darstellt.

Die Eindeutigkeit der erzielten Ergebnisse in Bezug auf das Material PVC und vor allem die Abstände zu den anderen Materialien ermöglichen es, trotz der methodischen Vereinfachungen unzweideutige Schlußfolgerungen in Bezug auf dieses Material vorzunehmen. Bei den anderen Werkstoffen ist wegen der meist geringeren Belastungsdifferenzen in den meisten Fällen eine differenziertere Betrachtung erforderlich. Dies gilt daher auch für das Ergebnis des Rankings.

Eine wesentliche systematische Änderung im Vergleich zur FICU-Studie bestand auch darin, daß wir die Daten für Beton/PVC für das Ranking nicht berücksichtigt haben. Dies deshalb, weil es aus unserer Sicht unlogisch gewesen wäre, zwei Materialien (Beton und PVC) mit sich selber zu vergleichen und daraus eine Reihenfolge der Umweltbilanz von Materialien abzuleiten.

Die Umweltbelastung von Beton/PVC läßt sich aber leicht abschätzen: Da diese Materialkombination weniger PVC als PVC-Rohre enthält, schneidet Beton/PVC etwas weniger schlecht als „reine“ PVC-Rohre ab.

1. Methode der „Kritischen Volumina“

a) Methodik

(1) Datengrundlage

Die Tabellen 1.a bis 1.c auf den Seiten 16 und 17 geben zunächst für alle drei Rohrdimensionen die kritischen Volumina an, wie sie in der Studie berechnet wurden.

(2) Relative Umweltbelastung

Um für eine Gesamtaussage die Einzelbewertungen zusammenführen zu können, haben wir im nächsten Schritt das *relative* Abschneiden der einzelnen Werkstoffe bei jedem einzelnen Kriterium im Vergleich zum jeweils schlechtesten Werkstoff ermittelt. Für jedes einzelne Kriterium wird angegeben, wieviel Umweltbelastung der einzelne Werkstoff im Vergleich zum schlechtesten verursacht. Das am schlechtesten abschneidende Material wird mit 100% bewertet, die Prozentzahl bei den anderen Materialien zeigt an, wie das Material im Vergleich dazu liegt. 50% bedeutet also etwa halb so hohe Umweltbelastung wie beim schlechtesten Material.

Diese Darstellung ermöglicht bereits eine gute Abschätzung, welches Material gesamt wie gut im Vergleich zu den anderen abschneidet. Die Tabellen 2.a bis 2.c auf den Seiten 17 und 18 zeigen das relative Abschneiden für alle Rohrgrößen.

(3) Aggregation: Prozentsummen

Die Prozentsummen der Relativbelastungen wurden als nächster Schritt addiert. Auf Basis dieser Summierung wurde anschließend das Ranking der Materialien vorzunehmen.

Eine methodische Einschränkung muß hier angemerkt werden: Die hier von uns vorgenommene Form der Aggregation entspräche einer völligen *Gleichrangigkeit* aller vier Kriterien (Gewässerbelastung, Luftbelastung, Rohstoffverbrauch, feste Abfälle). Diese Gleichrangigkeit ist hier eine (bewußte) Annahme. In der Praxis ist sie nicht gegeben, sondern davon abhängig, wieviel „relatives Gewicht“ derjenige, der beurteilt, jedem einzelnen der Kriterien zuordnet, wie wichtig ihm als etwa das Kriterium der Gewässerbelastung im Vergleich zum Anfall von Abfällen ist. Diese Werthaltung wird methodisch z.B. durch „Gewichten“⁷⁾, bei dem jedem Kriterium seine „relative Wichtigkeit“ durch einen Multiplikationsfaktor zugeordnet wird, vorgenommen. Wir haben aus naheliegenden Gründen auf dieses Gewichten verzichtet: Man hätte uns mit Sicherheit taktisches Verhalten unterstellt. (Außerdem sollten solche - politische - Gewichtungen strenggenommen nur von politisch (durch allgemeine Wahlen) legitimierten Institutionen vorgenommen werden.)

Wer diese Gleichrangigkeit nicht akzeptieren will, kann jederzeit durch persönliches Gewichten sein eigenes Ranking⁸⁾ erstellen. Für eine Grobabschätzung der relativen Umweltbelastung der 7 Rohrmaterialien ist die hier angewandte vereinfachte Methodik im Falle sehr eindeutiger Unterschiede allerdings ausreichend; knappe Differenzen müssen hingegen sehr vorsichtig bzw. gar nicht interpretiert werden.

Ein weiteres Problem dieser Aggregation bestand darin, daß in der Studie für die Werkstoffe Beton, Faserzement, Guß und keramische Rohre keine ausreichenden Angaben über die Gewässerbelastung gemacht werden und daher auch keine kritischen Wasser-Volumina bestimmt wurden. Um trotzdem eine Ranking zu ermöglichen, ohne auf das wichtige Kriterium der Gewässerbelastung zu verzichten, haben wir in den Tabellen 2.a bis 2.c (S.17f.) bei allen Werkstoffen, für die keine Angaben gemacht wurden, die kritischen Wasservolumina einheitlich mit 10% vom Belastungswert des schlechtesten Werkstoffs angesetzt. Dies ist bei allen vier Werkstoffen ein sicherlich überhöhter Wert, er läßt das jeweilige Material in Folge ungünstiger abschneiden als es bei reellen Werten abgeschnitten hätte. (Für die Produktion der Materialien und Rohre aus diesen Materialien sind Gewässerbelastungen von untergeordneter Bedeutung; dies ist auch der Grund, warum die Daten nicht verfügbar waren.) Da für *PVC und PEHD* die entsprechenden Daten vorliegen, werden diese Materialien beim abschließenden Ranking im Vergleich zu Beton, Gußeisen, Faserzement und keramischen Rohre *bevorzugt*.

(4) Ranking

Die Reihung der Materialien nach ihren Umweltbelastungen wurde auf der Basis der erzielten Prozentsummen vorgenommen. Wertdifferenzen von weniger als 15 Relativ% wurden dabei als gleichrangig eingestuft, die entsprechenden Werkstoffe „ex aequo“ auf den gleichen Rang gesetzt.

7) Die hier verwendete Aggregationsmethodik ist ein einfaches nutzwertanalytische Verfahren ohne Gewichtung.

8) Man kann z.B. in einer größeren Gruppe durch möglichst spontanes Verteilen einer gewissen Punkteanzahl auf die Kriterien und anschließender Normierung auf 100% diese Gewichtungsfaktoren ermitteln.

2. SETAC-Methode

a) Methodik

(1) Datengrundlage

Die auf den Seiten 24 bis 26 angeführten Tabellen 5.a bis 5.c geben die Bewertungsdaten nach der SETAC-Methode wieder, wie sie vom FICU ermittelt wurden und die die Basis des weiter unten vorgenommenen Rankings bilden.

(2) Relative Umweltbelastung

Um eine Aggregation der einzelnen Daten zu ermöglichen, wurden zunächst analog wie beim Ranking nach der Methode der Kritischen Volumina relative Umweltbelastungswerte im Vergleich zum jeweils schlechtesten Material ermittelt. (*Siehe die Erläuterungen auf S.113*). Kriterien, zu denen die Studie keine Angaben macht (Ozonzerstörungspotential, Ammoniak) wurden dabei nicht berücksichtigt. Die Ergebnisse sind in den Tabellen 6.a bis 6.c auf den Seiten 24 bis 26 wiedergegeben.

(3) Belastungsklassen

Um diese Datenvielfalt in eine leichter interpretierbare Form zu bringen, wurden im nächsten Schritt die Ergebnisse aller Materialien *klassiert*: Bei jedem Material wurde ermittelt, bei wievielen der 19 in die Bewertung einmündenden SETAC-Kriterien das jeweilige Material wie oft in welchem Prozentbereich im Vergleich zum jeweils am schlechtesten abschneidenden Material liegt.

Das Ergebnis ist in den Tabellen 7.a bis 7.c (S.27f.) sowie in den Abbildungen 2.a bis 2.c (S.29f.) dargestellt.

(4) Bester/schlechtester Wert

Als weitere ergänzende Information (Die Prozentklassen 0-21% bzw. 81-100% geben darüber keine Auskunft.) wurde noch ermittelt, welcher Werkstoff bei wievielen Kriterien der am besten bzw. am schlechtesten abschneidende ist.

Das Ergebnis ist in den Tabellen 8.a bis 8.c (S.30f.) wiedergegeben.

(5) Prozentsummen

Analog wie bei der Methode der kritischen Volumina wurde das Ranking durch Addition der Prozentsummen der relativen Umweltbelastung ermittelt. Es gilt hier die gleiche methodische Einschränkung wie die bei der Methode der Kritischen Volumina (S.14).

(6) Ranking

Ebenso wie bei der Aggregation der Bewertungen nach der Methode der kritischen Volumina wurden Werkstoffe, deren Prozentsummen sich um nicht mehr als 15 Relativ% voneinander unterschieden, als gleichrangig eingestuft.

B. Ergebnisse

1. Methode der „Kritischen Volumina

a) Basisdaten

Die folgenden Tabellen 1.a bis 1.c geben die von den Autoren ermittelten kritischen Volumina sowie die Abfall- und Rohstoffverbrauchsdaten wieder, die Basis des folgenden Rankings bilden. Bei den Werkstoffen Faserzement, Guß, Beton und Steinzeug wurden in der Studie wegen Datenmangels keine kritischen Wasservolumina ermittelt.

Tab.1.a: Kritische Volumina, Basisdaten (DN150)

Kriterium	Maßeinheit	PEHD	PVC	Faserzement	Guß
Rohstoffverbrauch	[kg/m Rohr]	6,7	79,9	18,9	29,4
Feste Abfälle	[g/m Rohr]	230	495,8	171,2	1841,8
Luft kritische Volumina	[m ³ /m Rohr]	3787260	5698686	681580,3	108468,3
Wasser kritische Volumina	[l/m Rohr]	479,6	977,3	k.A.	k.A.

k.A. keine Angaben

Tab.1.b: Kritische Volumina, Basisdaten (DN250)

Kriterium	Maßeinheit	PEHD	PVC	Steinzeug	Faserzement	Guß	Beton
Rohstoffverbrauch	[kg/m Rohr]	7,3	9,8	61,7	28,3	42,7	126,3
Feste Abfälle	[g/m Rohr]	251,5	614,1	1184,9	274,3	3042,8	16,9
Luft kritische Volumina	[m ³ /m Rohr]	4133366	7058273	2497169	970733,1	156658	189973
Wasser kritische Volumina	[l/m Rohr]	522,9	1215,4	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.

k.A. keine Angaben

Tab.1.c: Kritische Volumina, Basisdaten (DN400)

Kriterium	Maßeinheit	PEHD	PVC	Steinzeug	Faserzement	Guß	Beton
Rohstoffverbrauch	[kg/m Rohr]	12,3	25	198,2	70,7	67,5	220,2
Feste Abfälle	[g/m Rohr]	421,8	1566,6	4251,7	678,8	4803,3	29,5
Luft kritische Volumina	[m ³ /m Rohr]	6943310	18004568	7382315	2405188,2	246386	331397
Wasser kritische Volumina	[l/m Rohr]	879,6	3097,3	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.

k.A. keine Angaben

b) Relative Umweltbelastung

Die zur Aggregation dieser unterschiedlichen Daten erforderliche Normierung durch Bezug auf die Belastung des jeweils schlechtesten Materials ist in den Tabellen 2.a bis 2.c wiedergegeben.

Tab.2.a: Kritische Volumina, relative Umweltbelastungen (DN150)

Kriterium	Maßeinheit	PEHD	PVC	Faserzement	Guß
Rohstoffverbrauch	[% vom Schlechtesten]	8%	100%	24%	37%
Feste Abfälle	[% vom Schlechtesten]	12%	27%	9%	100%
Luft kritische Volumina	[% vom Schlechtesten]	66%	100%	12%	2%
Wasser kritische Volumina	[% vom Schlechtesten]	49%	100%	10%*)	10%*)

*) 10%: (konservativ) angenommener Wert (keine ausreichenden Daten verfügbar):
Siehe Erläuterungen S.14

Tab.2.b: Kritische Volumina, relative Umweltbelastungen (DN250)

Kriterium	Meßeinheit	PEHD	PVC	Stein- zeug	Faser- zement	Guß	Beton
Rohstoffverbrauch	[% vom Schlechtesten]	6%	8%	49%	22%	34%	100%
Feste Abfälle	[% vom Schlechtesten]	8%	20%	39%	9%	100%	1%
Luft kritische Volumina	[% vom Schlechtesten]	59%	100%	35%	14%	2%	3%
Wasser kritische Volumina	[% vom Schlechtesten]	43%	100%	10%*)	10%*)	10%*)	10%*)

*) 10%: (konservativ) angenommener Wert (keine ausreichenden Daten verfügbar):
Siehe Erläuterungen S.14

Tab.2.c: Kritische Volumina, relative Umweltbelastungen (DN400)

Kriterium	[Einheit]	PEHD	PVC	Stein- zeug	Faser- zement	Guß	Beton
Rohstoffverbrauch	[% vom Schlechtesten]	6%	11%	90%	32%	31%	100%
Feste Abfälle	[% vom Schlechtesten]	9%	33%	89%	14%	100%	1%
Luft kritische Volumina	[% vom Schlechtesten]	39%	100%	41%	13%	1%	2%
Wasser kritische Volumina	[% vom Schlechtesten]	28%	100%	10%*)	10%*)	10%*)	10%*)

*) 10%: (konservativ) angenommener Wert (keine ausreichenden Daten verfügbar):
Siehe Erläuterungen S.14

Schon die Tabellen 2.a bis 2.c auf den Seiten 17 und 18 ergeben ein völlig unzweideutiges Ergebnis bezüglich der Umweltrelevanz des Rohrwerkstoffs PVC: In zwei von vier Kriterien, bei Nennweite DN150 sogar in drei von vier Kriterien, ist PVC nach der Bewertung der „Kritischen Volumina“ - Methode das am schlechtesten abschneidende Material.

c) Prozensummen

Die Tabelle 3 und die Abbildungen 1.a bis 1.c (S.17f.) zeigen die Summen der erzielten Belastungsprozente:

Tab.3: Kritische Volumina, Prozensummen

Dimension	PEHD	PVC	Faserzement	Guß	Beton	Steinzeug
DN 150	136%	327%	149%	55%	---	---
DN 250	116%	228%	55%	146%	113%	133%
DN 400	81%	244%	70%	142%	112%	230%

Abb.1.a: Kritische Volumina, Prozensummen (DN150)

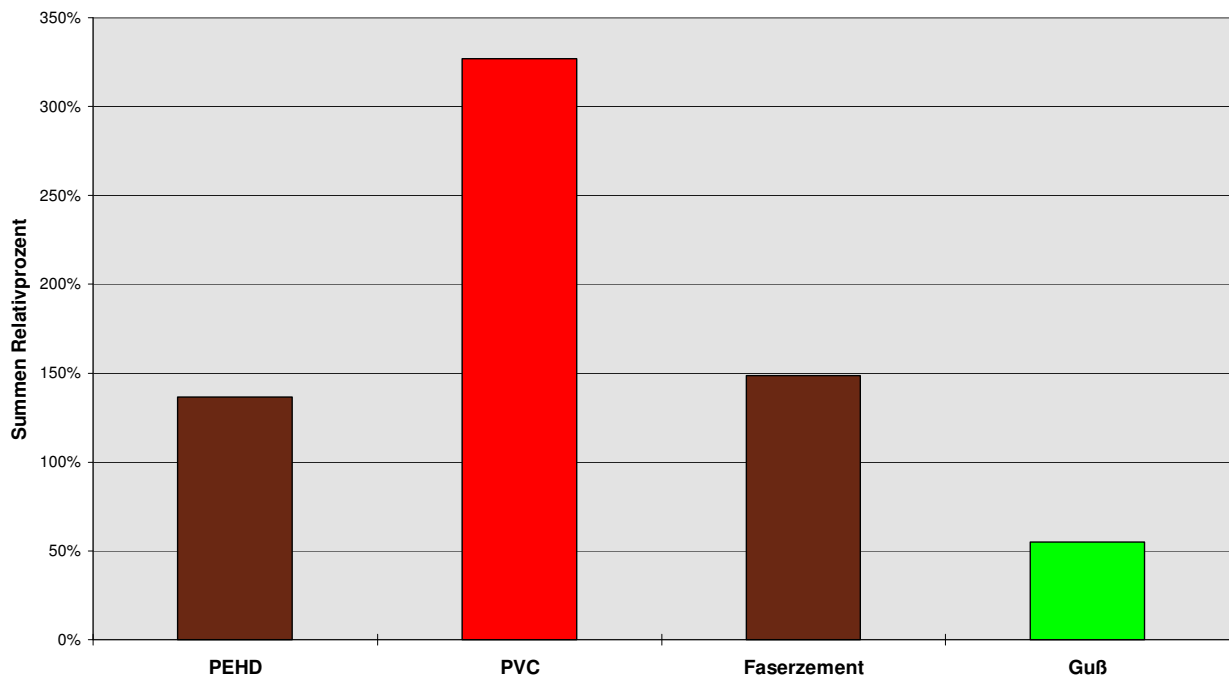


Abb.1.b: Kritische Volumina, Prozentsummen (DN250)

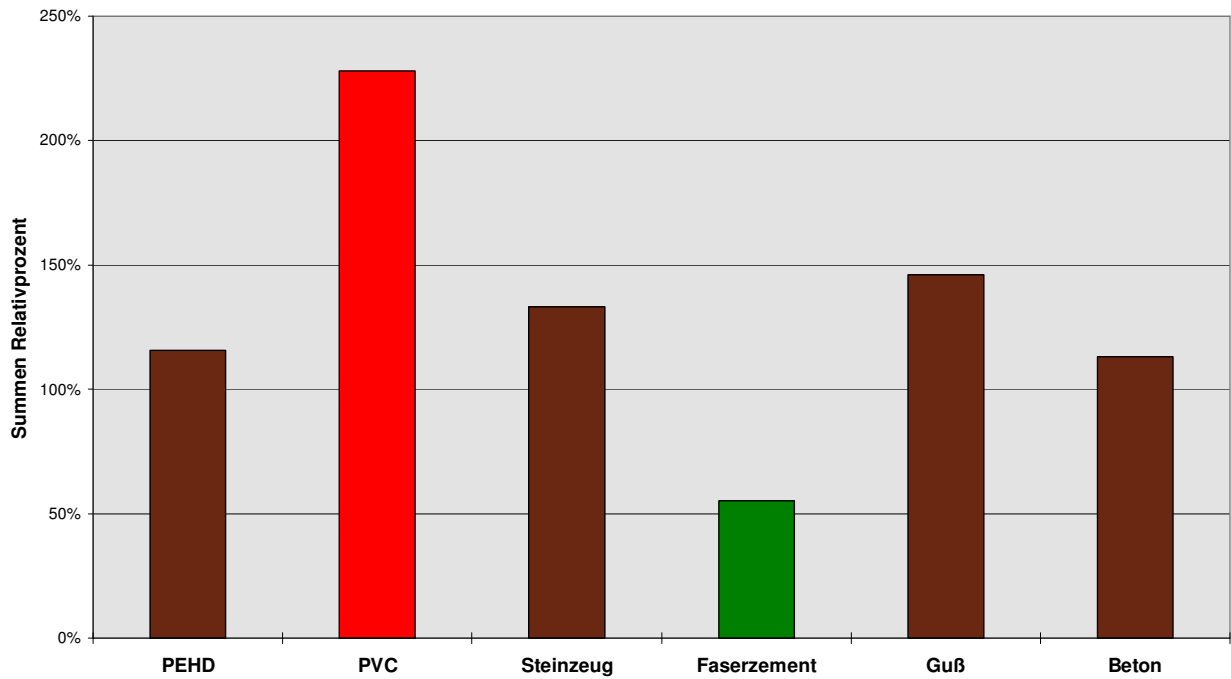
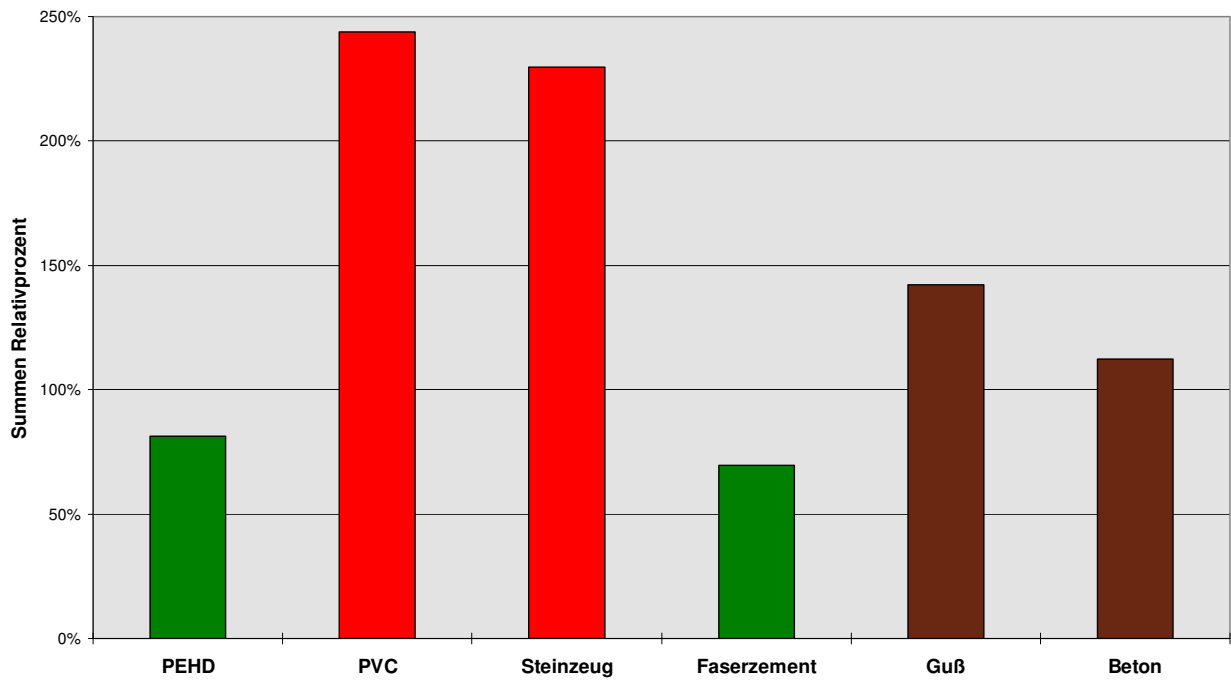


Abb.1.c: Kritische Volumina, Prozentsummen (DN400)



d) Ranking

Diese Prozentsummen ermöglichen nun das ökologische Ranking der verglichenen Rohrmaterialien auf der Basis der Bewertung nach der Methode der kritischen Volumina (Tabelle 4):

Tab.4: Kritische Volumina: Ranking

Rang	DN 150	DN 250	DN 400
1	Guß	Faserzement	Faserzement
2	Faserzement, PEHD	Beton, PEHD, Steinzeug	PEHD
3			Beton
4	PVC		Guß
5		Guß	PVC , Steinzeug
6		PVC	

Das Ergebnis des Rankings auf der Basis der nach der Methode der „Kritischen Volumina“ ermittelten Belastungswerte (Tab.4) ist eindeutig: Bei allen Rohrdimensionen ist PVC das schlechteste Material.

2. SETAC-Methode

a) Basisdaten

Die folgenden Tabellen 5.a bis 5.c geben zunächst die in der FICU-Studie ermittelten Belastungsdaten mit den jeweiligen Maßeinheiten wieder:

Tab.5.a: SETAC-Methode, Basisdaten (DN150)

Auswirkungsklasse	Maßeinheit	PEHD	PVC	Faserzement	Guß
1 Inanspruchnahme von Rohstoffen					
Fossile Ressourcen als Energieträger	[kg/m Rohr]	3,22	2,21	1,04	0,46
Fossile Ressourcen als Einsatzstoffe	[kg/m Rohr]	6,7	2,5	0	0
Nicht erneuerbare Stoffe	[kg/m Rohr]	0	5,4	16,49	4,99
Erneuerbare Rohstoffe (Energie aus Wasserkraft)	[MJ/m Rohr]	13	10,4	11,2	37,8
Verbrauch aus nuklearer Energie	[MJ/m Rohr]	8,5	41,9	11,9	0,6
Wasserverbrauch	[kg/m Rohr]	1,7	1,4	1,4	1
2 Treibhauseffekt (GWP)	[kg CO ₂ /m Rohr]	13,9	9,9	11,3	8,3
3 Ozonabbau in der Stratosphäre		---	---	---	---
4 Humantoxizität und Ökotoxizität					
4.1 Gesundheitsgefährdung von Menschen					
Staub	[mg/m Rohr]	13300,3	21187,9	1054,5	164,4
CO	[mg/m Rohr]	4450,1	15430,2	31106,1	6130,1
SO ₂	[mg/m Rohr]	40043,5	69068,9	13349,8	1365,4
Metalle	[mg/m Rohr]	6,7	16	3,6	0,3
4.2 Atmosphärische Emissionen mit Schadwirkungen auf Organismen und Ökosysteme					
Ammoniak-Stickstoff	[mg/m Rohr]	---	---	---	---
Chlorwasserstoff (HCl)	[mg/m Rohr]	330	1276,1	54	5,1
Fluorwasserstoff (HF)	[mg/m Rohr]	6,6	0	5	0,5
NO _x	[mg/m Rohr]	67285,1	85290,7	6463,6	1764,6
SO _x	[mg/m Rohr]	40043,5	69068,9	13349,8	1365,4
Schwefelwasserstoff (H ₂ S)	[mg/m Rohr]	67	49,8	0	0
5 Bildung von Photooxidantien	[kg C ₂ H ₄ /m Rohr]	0,052	0,038	0,0001	0,0002
6 Versauerung von Gewässern und Böden	[kg SO ₂ /m Rohr]	0,0874	0,1299	0,0179	0,0026
7 Eutrophierung	[kg PO ₄ /m Rohr]	0,0087	0,0111	0,0008	0,0002

Tab.5.b: SETAC-Methode, Basisdaten (DN250)

Fehler! Keine gültige Verknüpfung.

Tab.5.c: SETAC-Methode, Basisdaten (DN400)

Auswirkungsklasse		Maßeinheit	PEHD	PVC	Stein- zeug	Faser- zement	Guß	Beton
1	Inanspruchnahme von Rohstoffen							
	Fossile Ressourcen als Energieträger	[kg/m Rohr]	5,91	6,97	10,48	3,62	1,12	1,17
	Fossile Ressourcen als Einsatzstoffe	[kg/m Rohr]	12,3	7,9	0	0	0	0
	Nicht erneuerbare Stoffe	[kg/m Rohr]	0	17,08	142,99	61,76	4,43	215,53
	Erneuerbare Rohstoffe (Energie aus Wasserkraft)	[MJ/m Rohr]	23,9	33,7	14,9	43,2	94,4	24,7
	Verbrauch aus nuklearer Energie	[MJ/m Rohr]	15,6	132,4	71,6	47,2	1,1	0,4
	Wasserverbrauch	[kg/m Rohr]	3,2	4,4	45,1	5,3	0,2	13,6
2	Treibhauseffekt (GWP)	[kg CO ₂ /m Rohr]	25,5	31,3	45,3	40,7	19,6	18,5
3	Ozonabbau in der Stratosphäre		---	---	---	---	---	---
4	Humantoxizität und Ökotoxizität							
4.1	Gesundheitsgefährdung von Menschen							
	Staub	[mg/m Rohr]	24383,9	66948,8	6562,6	3679,4	320,4	967,2
	CO	[mg/m Rohr]	8158,5	48756	26729,7	113334,4	8670,2	60640,5
	SO ₂	[mg/m Rohr]	73413,1	218242,2	95196,7	46773,4	2686,3	6764
	Metalle	[mg/m Rohr]	12,3	50,4	0	13,5	0	7,4
4.2	Atmosphärische Emissionen mit Schädwirkungen auf Organismen und Ökosysteme							
	Ammoniak-Stickstoff	[mg/m Rohr]	---	---	---	---	---	---
	Chlorwasserstoff (HCl)	[mg/m Rohr]	605	4032	699,4	202,3	0	110,3
	Fluorwasserstoff (HF)	[mg/m Rohr]	12,1	0	0	18,7	0	10,2
	NO _x	[mg/m Rohr]	123356	269499,4	122760	23142,8	4467,6	2417,5
	SO _x	[mg/m Rohr]	73413,1	218242,2	95196,7	46773,4	2686,3	6764
	Schwefelwasserstoff (H ₂ S)	[mg/m Rohr]	122,8	157,3	0	0	0	0
5	Bildung von Photooxidantien	[kg C ₂ H ₄ /m Rohr]	0,095	0,121	0,002	0,0004	0,0005	0,0002
6	Versauerung von Gewässern und Böden	[kg SO ₂ /m Rohr]	0,1603	0,4104	0,1817	0,0632	0,0058	0,0086
7	Eutrophierung	[kg PO ₄ /m Rohr]	0,016	0,035	0,0135	0,003	0,0006	0,0003

b) Relative Umweltbelastung

Die folgenden Tabellen 6.a bis 6.c zeigen die auf den jeweils schlechtesten Werkstoff bezogenen normierten Werte:

Tab.6.a: SETAC-Methode, relative Umweltbelastungen (DN150)

Auswirkungsklasse		Maßeinheit	PEHD	PVC	Faserzement	Guß
1	Inanspruchnahme von Rohstoffen					
	Fossile Ressourcen als Energieträger	[% vom Schlechtesten]	100%	69%	32%	14%
	Fossile Ressourcen als Einsatzstoffe	---''---	100%	37%	0%	0%
	Nicht erneuerbare Stoffe	---''---	0%	33%	100%	30%
	Erneuerbare Rohstoffe (Energie aus Wasserkraft)	---''---	34%	28%	30%	100%
	Verbrauch aus nuklearer Energie	---''---	20%	100%	28%	1%
	Wasserverbrauch	---''---	100%	82%	82%	59%
2	Treibhauseffekt (GWP)					
		---''---	100%	71%	81%	60%
3	Ozonabbau in der Stratosphäre					
			---	---	---	---
4	Humantoxizität und Ökotoxizität					
4.1	Gesundheitsgefährdung von Menschen					
	Staub	---''---	63%	100%	5%	1%
	CO	---''---	14%	50%	100%	20%
	SO2	---''---	58%	100%	19%	2%
	Metalle	---''---	42%	100%	23%	2%
4.2	Atmosphärische Emissionen mit Schädwirkungen auf Organismen und Ökosysteme					
	Ammoniak-Stickstoff	---''---	---	---	---	---
	Chlorwasserstoff (HCl)	---''---	26%	100%	4%	0%
	Fluorwasserstoff (HF)	---''---	100%	0%	76%	8%
	NOx	---''---	79%	100%	8%	2%
	SOx	---''---	58%	100%	19%	2%
	Schwefelwasserstoff (H2S)	---''---	100%	74%	0%	0%
5	Bildung von Photooxidantien					
		---''---	100%	73%	0%	0%
6	Versauerung von Gewässern und Böden					
		---''---	67%	100%	14%	2%
7	Eutrophierung					
		---''---	78%	100%	7%	2%

Tab.6.b: SETAC-Methode, relative Umweltbelastungen (DN250)

Auswirkungsklasse		Maßeinheit	PEHD	PVC	Steinzeug	Faserzement	Guß	Beton
1	Inanspruchnahme von Rohstoffen							
	Fossile Ressourcen als Energieträger	[% vom Schlechtesten]	94%	73%	100%	38%	18%	18%
	Fossile Ressourcen als Einsatzstoffe	---"---	100%	42%	0%	0%	0%	0%
	Nicht erneuerbare Stoffe	---"---	0%	5%	37%	20%	2%	100%
	Erneuerbare Rohstoffe (Energie aus Wasserkraft)	---"---	26%	24%	9%	31%	100%	26%
	Verbrauch aus nuklearer Energie	---"---	18%	100%	50%	37%	1%	0%
	Wasserverbrauch	---"---	12%	10%	100%	13%	1%	48%
2	Treibhauseffekt (GWP)		90%	73%	96%	100%	73%	63%
3	Ozonabbau in der Stratosphäre		---	---	---	---	---	---
4	Humantoxizität und Ökotoxizität							
4.1	Gesundheitsgefährdung von Menschen							
	Staub	---"---	55%	100%	9%	6%	1%	2%
	CO	---"---	10%	41%	21%	100%	12%	75%
	SO2	---"---	51%	100%	37%	22%	2%	5%
	Metalle	---"---	37%	100%	0%	27%	0%	21%
4.2	Atmosphärische Emissionen mit Schadwirkungen auf Organismen und Ökosysteme							
	Ammoniak-Stickstoff	---"---	---	---	---	---	---	---
	Chlorwasserstoff (HCl)	---"---	23%	100%	16%	5%	0%	4%
	Fluorwasserstoff (HF)	---"---	96%	0%	0%	100%	0%	79%
	NOx	---"---	70%	100%	40%	9%	3%	1%
	SOx	---"---	51%	100%	37%	22%	2%	5%
	Schwefelwasserstoff (H2S)	---"---	100%	84%	0%	0%	0%	0%
5	Bildung von Photooxidantien		100%	82%	1%	0%	1%	0%
6	Versauerung von Gewässern und Böden		59%	100%	38%	16%	2%	2%
7	Eutrophierung		69%	100%	74%	9%	3%	1%

Tab.6.c: SETAC-Methode, relative Umweltbelastungen (DN400)

Auswirkungsklasse	Maßeinheit	PEHD	PVC	Stein- zeug	Faser- zement	Guß	Beton
1	Inanspruchnahme von Rohstoffen						
	Fossile Ressourcen als Energieträger	[% vom Schlechtesten]	56%	67%	100%	35%	11%
	Fossile Ressourcen als Einsatzstoffe	---"---	100%	64%	0%	0%	0%
	Nicht erneuerbare Stoffe	---"---	0%	8%	66%	29%	100%
	Erneuerbare Rohstoffe (Energie aus Wasserkraft)	---"---	25%	36%	16%	46%	100%
	Verbrauch aus nuklearer Energie	---"---	12%	100%	54%	36%	1%
	Wasserverbrauch	---"---	7%	10%	100%	12%	0%
2	Treibhauseffekt (GWP)						
		---"---	56%	69%	100%	90%	43%
3	Ozonabbau in der Stratosphäre						
		---	---	---	---	---	---
4	Humantoxizität und Ökotoxizität						
4.1	Gesundheitsgefährdung von Menschen						
	Staub	---"---	36%	100%	10%	5%	0%
	CO	---"---	7%	43%	24%	100%	8%
	SO2	---"---	34%	100%	44%	21%	1%
	Metalle	---"---	24%	100%	0%	27%	0%
4.2	Atmosphärische Emissionen mit Schadwirkungen auf Organismen und Ökosysteme						
	Ammoniak-Stickstoff	---"---	---	---	---	---	---
	Chlorwasserstoff (HCl)	---"---	15%	100%	17%	5%	0%
	Fluorwasserstoff (HF)	---"---	65%	0%	0%	100%	0%
	NOx	---"---	46%	100%	46%	9%	2%
	SOx	---"---	34%	100%	44%	21%	1%
	Schwefelwasserstoff (H2S)	---"---	78%	100%	0%	0%	0%
5	Bildung von Photooxidantien						
		---"---	79%	100%	2%	0%	0%
6	Versauerung von Gewässern und Böden						
		---"---	39%	100%	44%	15%	1%
7	Eutrophierung						
		---"---	46%	100%	39%	9%	2%

c) Belastungsklassen

Die folgenden Tabellen 7.a bis 7.c geben an, wie oft ein Werkstoff in welcher „Belastungsklasse“ (Prozentbereich der Belastung im Vergleich zum beim jeweiligen Kriterium schlechtesten Werkstoff) aufscheint:

Tab.7.a: SETAC-Methode, Belastungsklassen (DN150)

Belastungs- klasse	Anzahl Kriterien			
	PEHD	PVC	Faser- zement	Guß
0-20%	2	1	10	15
21-40%	3	3	4	1
41-60%	3	1	0	2
61-80%	4	4	1	0
81-100%	7	10	4	1

Tab.7.b: SETAC-Methode, Belastungsklassen (DN250)

Belastungs- klasse	Anzahl Kriterien					
	PEHD	PVC	Stein- zeug	Faser- zement	Guß	Beton
0-20%	4	3	8	9	17	12
21-40%	3	1	6	7	0	2
41-60%	4	2	1	0	0	1
61-80%	2	2	1	0	1	3
81-100%	6	11	3	3	1	1

Tab.7.c: SETAC-Methode, Belastungsklassen (DN400)

Belastungs- klasse	Anzahl Kriterien					
	PEHD	PVC	Stein- zeug	Faser- zement	Guß	Beton
0-20%	5	3	8	9	17	13
21-40%	6	1	2	6	0	2
41-60%	4	1	5	1	1	3
61-80%	3	3	1	0	0	0
81-100%	1	11	3	3	1	1

Dieses Ergebnis (Tab. 7c) ist eindeutig:

- 1.) Guß und Beton sind überwiegend in der geringsten Belastungsklasse.***
- 2.) In 11⁹⁾ (in Worten: elf!) von 19 Kriterien, also in deutlich mehr als der Hälfte der Kriterien, ist PVC in der schlechtesten Kategorie (80 - 100% der Belastung des schlechtesten Materials)!***

Die folgenden Abbildungen 2.a bis 2.c ermöglichen eine grafische Zusammenfassung des Abschneidens aller Materialien. Auch hier ist klar sichtbar, wie dramatisch schlecht PVC im Vergleich zu allen anderen Materialien abschneidet:

⁹⁾ Bei Nennweite DN150 sind es „nur“ 10 von 19 Kriterien.

Abb.2.a: SETAC-Methode, Belastungsklassen (DN150)

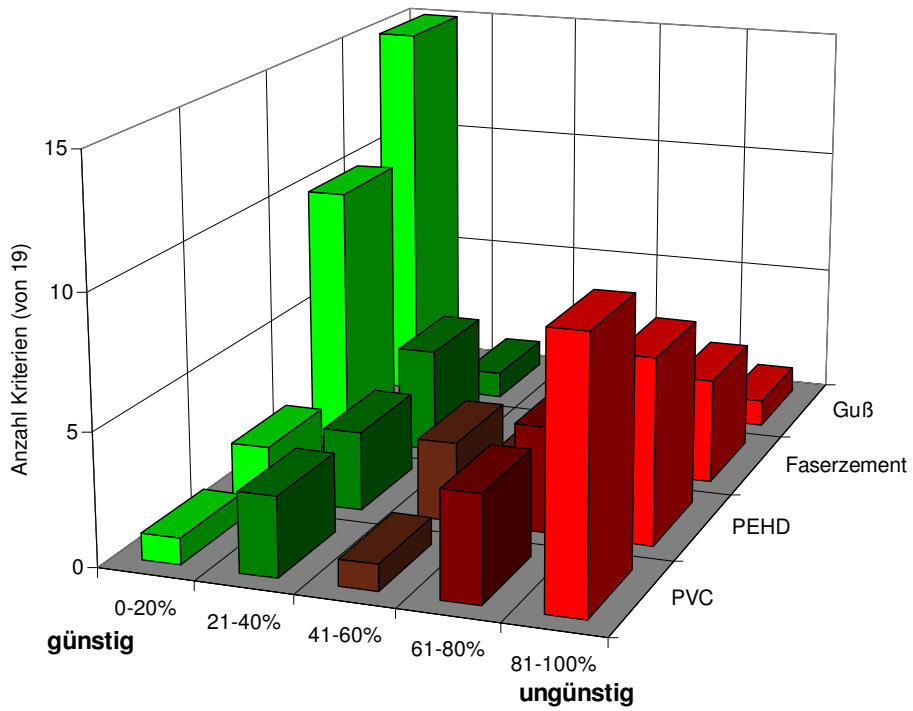


Abb.2.b: SETAC-Methode, Belastungsklassen (DN250)

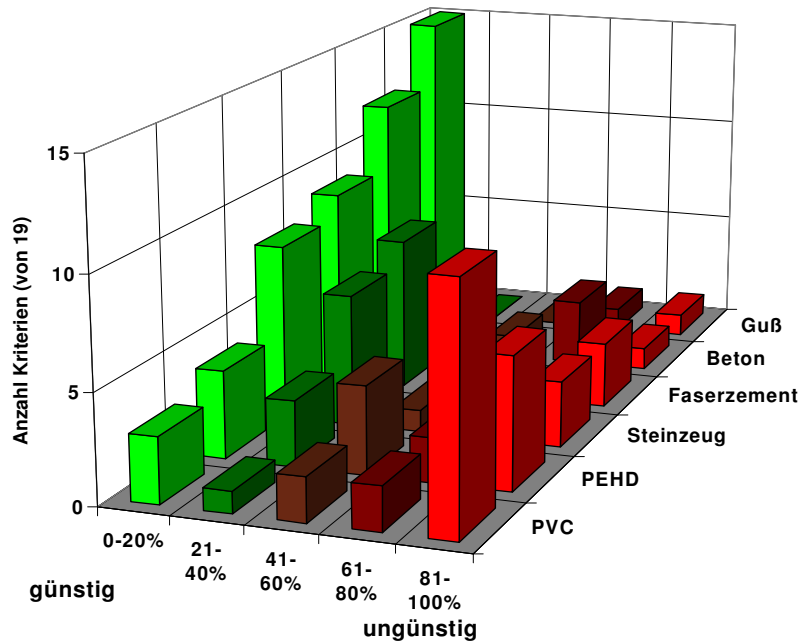
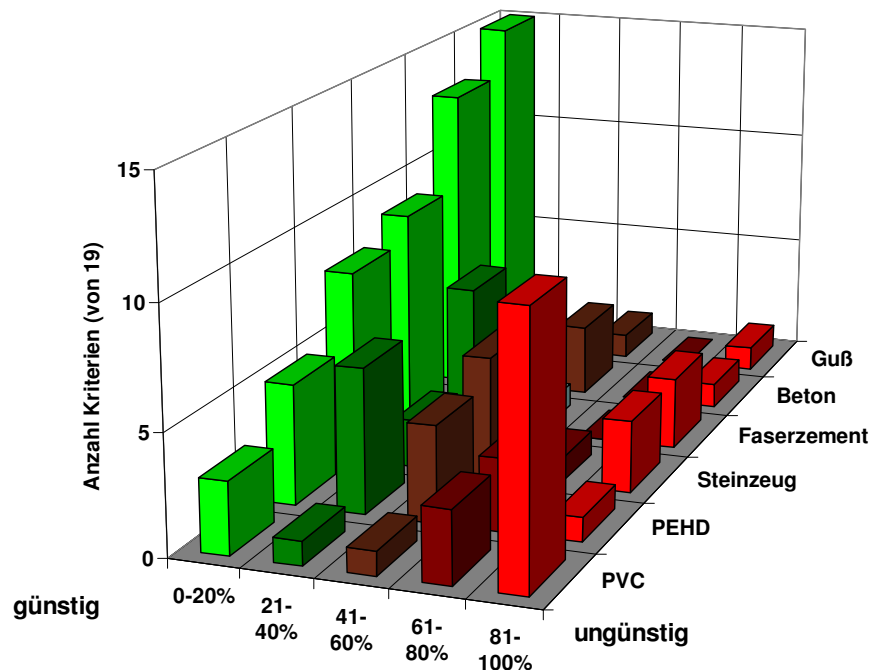


Abb.2.c: SETAC-Methode, Belastungsklassen (DN400)



d) *Bester/schlechtester Werkstoff*

In den folgenden Tabellen 8.a bis 8.c wird noch angegeben, welcher Werkstoff bei wie vielen Kriterien jeweils als bester bzw. als schlechtester abschneidet:

Tab.8.a: SETAC-Methode, bester/schlechtester Werkstoff (DN150)

	Anzahl Kriterien			
	PEHD	PVC	Faserzement	Guß
bester	2	2	3	12
schlechtester	7	9	2	1

Tab.8.b: SETAC-Methode, bester/schlechtester Werkstoff (DN250)

	Anzahl Kriterien					
	PEHD	PVC	Steinzeug	Faserzement	Guß	Beton
bester	2	1	4	0	6	6
schlechtester	3	9	2	3	1	1

Tab.8.c: SETAC-Methode, bester/schlechtester Werkstoff (DN400)

	Anzahl Kriterien					
	PEHD	PVC	Steinzeug	Faserzement	Guß	Beton
bester	2	1	4	0	7	5
schlechtester	1	11	3	2	1	1

Das Ergebnis der Tab. 8a-8c ergibt ganz klar:

- 1.) Guß, Beton und Steinzeug sind überdurchschnittlich oft in bester Kategorie.
- 2.) In neun bzw. elf (!) von 19 Kriterien ist PVC der von allen Werkstoffen absolut schlechteste!

e) Prozentsummen

Ein noch eindeutigeres Ergebnis läßt sich ablesen, wenn man die von den einzelnen Materialien erzielten relativen Umweltbelastungsprozente addiert.

Die Abbildungen 3.a bis 3.c (S.32f.) zeigen die grafische Darstellung der Resultate. Ein Material, das bei sämtlichen Kriterien der SETAC-Methode das absolut schlechteste wäre, würde genau 1900% der Prozentsummen erzielen.

Abb.3.a: SETAC-Methode, Prozentsummen (DN150)

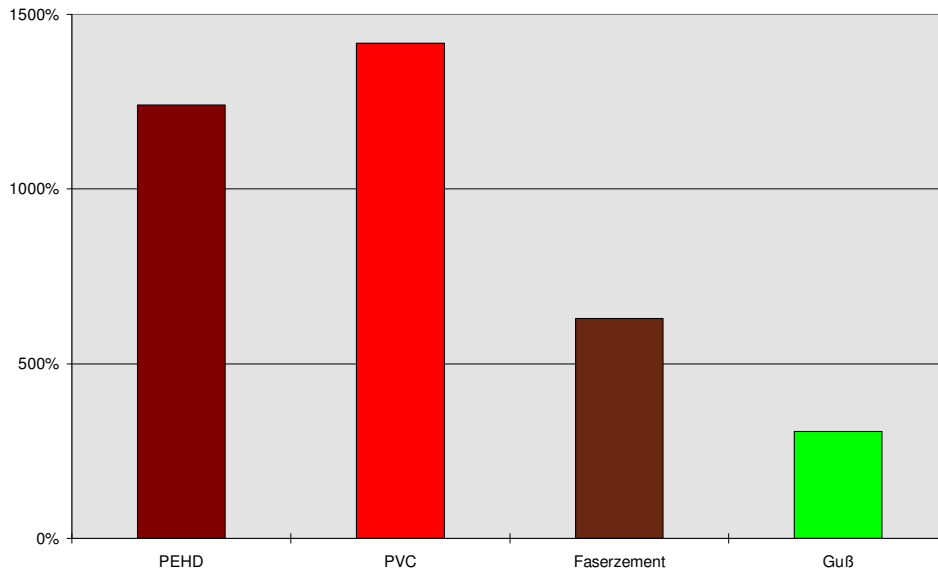


Abb.3.b: SETAC-Methode, Prozentsummen (DN250)

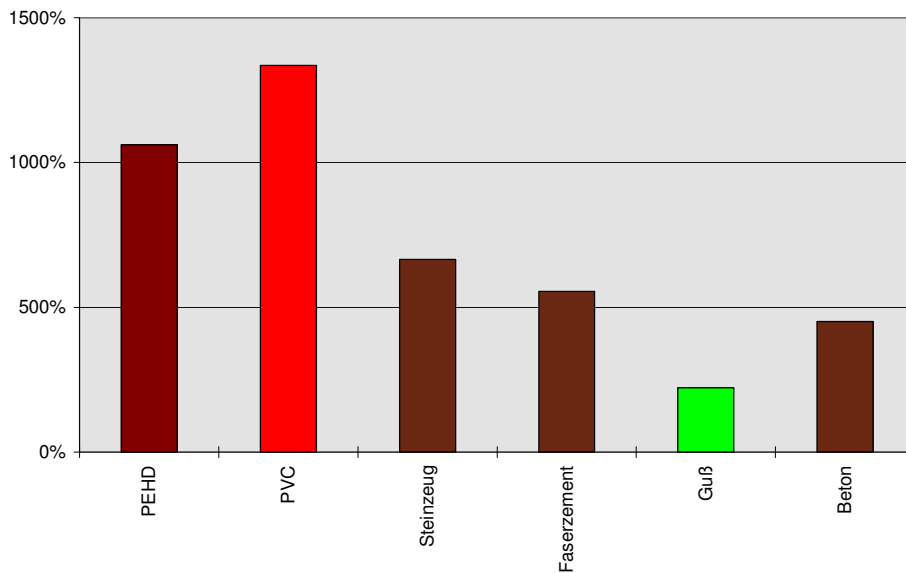
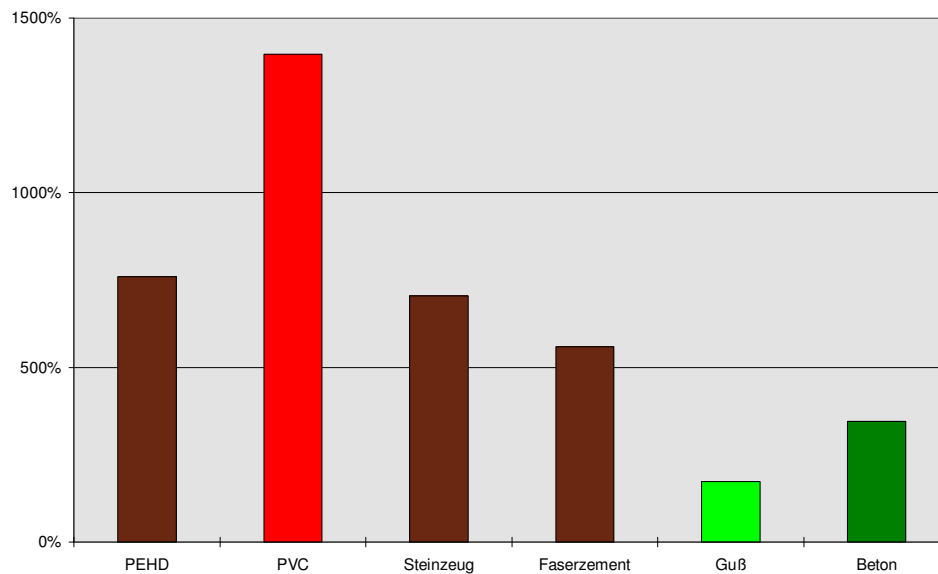


Abb.3.c: SETAC-Methode, Prozentsummen (DN400)



1. **Das Resultat der Abb. 3a-3c zeigt klare Ergebnisse:**

1.) Guß erweist sich als bei der SETAC-Methode als ökologisch günstiges Material.

2.) PVC erreicht - bei allen Rohrdimensionen - die unglaubliche Zahl von etwa 1400 (!) von theoretisch möglichen 1900 % und ist damit der - mit großen Abstand - am schlechtesten abschneidende Werkstoff!

f) Ranking

Auf der Basis der Prozentsummen läßt sich das in Tabelle 9 wiedergegebene Ranking der Materialien vornehmen, welches in Bezug auf PVC nach den oben wiedergegebenen Ergebnissen ein kaum mehr überraschendes Ergebnis zeigt:

Tab.9: SETAC-Methode, Ranking

Rang	DN 150	DN 250	DN 400
1	Guß	Guß	Guß
2	Faserzement	Beton	Beton
3	PEHD	Faserzement	Faserzement
4	PVC	Steinzeug	Steinzeug, PEHD
5		PEHD	
6		PVC	PVC

PVC ist bei der SETAC-Methode bei allen Rohrdimensionen der ökologisch schlechteste Werkstoff.