

Stoffströme der Chemie in der Industriegesellschaft

Textile Bodenbeläge

Gemeinschaftsausschuss von
DECHEMA und GDCh
unter Mitarbeit von GUT und TFI



TEXTILE BODENBELÄGE – STOFFFLUSSANALYSE UND BEWERTUNG

**Ergebnisse des Gemeinschaftsausschusses
„Analyse und Bewertung von Stoffströmen
der Chemie in der Industriegesellschaft“**

**DECHEMA und GDCh
unter Mitarbeit von GUT und TFI**



DECHEMA Gesellschaft f. Chemische Technik und Biotechnologie e.V.
Theodor-Heuss-Allee 25, 60486 Frankfurt/Main



Gesellschaft Deutscher Chemiker e.V.
Varrentrappstraße 40-42, 60486 Frankfurt/Main



Gemeinschaft umweltfreundlicher Teppichboden e.V.
Schönebergstraße 2, 52068 Aachen



Deutsches Teppich-Forschungsinstitut e.V.
Charlottenburger Allee 41, 52068 Aachen

VORWORT

„Menschliches Leben ist ohne Austausch von Stoffen nicht denkbar. In der industrialisierten Welt werden aber Stoffe nicht mehr nur zur Erfüllung von Grundbedürfnissen, wie z.B. für Ernährung, Bekleidung und Wohnen, eingesetzt, sondern in zunehmendem Maße zur Umsetzung gestiegener Konsumansprüche. Alle so verwendeten Stoffe werden in anderer Form oder Zusammensetzung, z.B. als Abfälle, Abwässer oder Abgase in die Umwelt zurückgeführt. Dies gilt für alle Schritte des Produktlebens, von der Ausbeutung von Bodenschätzen über die Herstellung, die Verteilung, Lagerung und Verwendung des Produktes bis hin zur Entsorgung oder Wiederverwertung des Produktes. Vor allem auch die Erzeugung von Energie ist mit großen Stoffumsätzen verbunden.“

Diese einleitenden Worte des Zwischenberichts *„Verantwortung für die Zukunft, Wege zum nachhaltigen Umgang mit Stoff- und Materialströmen“* der Enquete-Kommission *„Schutz des Menschen und der Umwelt“* des 12. Deutschen Bundestages betont die Wichtigkeit von Stoffströmen in der Industriegesellschaft für ihre Auswirkungen auf den Menschen und die Umwelt.

Angeregt durch die Arbeiten der Enquete-Kommission erfolgte eine Intensivierung der Diskussion über Wert und Zielsetzung bestimmter Instrumente der Umweltpolitik. Dabei haben sich vor allem die Methoden der „Ökobilanzen“ und „Stoffstromanalyse“ als gängige Instrumente der Erarbeitung und Bewertung von Stoffströmen bewährt. Die Akzeptanz dieser Instrumente und die Übernahme ihrer Ergebnisse in die Entscheidungen von industriell und gesellschaftlich Handelnden setzt allerdings eine substantielle Kenntnis der Struktur und Leistungsfähigkeit dieser Instrumente sowie der Potentiale und Grenzen einer Anwendung in einem Bewertungsprozess voraus.

Die in der Chemie verankerten wissenschaftlichen Gesellschaften GDCh und DECHEMA haben die Bedeutung dieser Problemstellungen aufgegriffen, um auf diese Weise den Sachverstand der Chemie und der mit ihr kooperierenden Disziplinen in die Entwicklung umweltpolitischer Instrumente einzubringen. Dazu wurde im Jahr 1995 ein Gemeinschaftsausschuss von DECHEMA und GDCh gegründet mit der Thematik *„Analyse und Bewertung von Stoffflüssen der Chemie in der Industriegesellschaft.“*

Mit dieser Themenstellung wird der Tatsache Rechnung getragen, dass es häufig die zentrale Aufgabe der Chemie ist, Grundstoffe an der Quelle von Stoffströmen bereitzustellen, diese in Produkte umzusetzen und im Sinne des zukunftsorientierten, nachhaltigen Wirtschaftens auch die Verantwortung für die umwelt- und gesundheitsrelevanten Auswirkungen entlang des Stoffstromes zu übernehmen.

Die Ziele der Arbeit des DECHEMA/GDCh- Ausschusses bestehen deshalb in der Aufklärung und Bilanzierung vernetzter Stoffströme der modernen Industriegesellschaft, die durch die Chemie oder chemische Produkte ausgelöst werden. Darüber hinaus sollen solche Stoffströme, differenziert im Hinblick auf den Ressourcenverbrauch (Rohstoffe, Wasser und Brennstoff einschließlich des Energieaufkommens) sowie die Belastung von biotischen und abiotischen Umweltkompartimenten durch die Haupt- und Seitenströme der Stoffflüsse, bewertet werden. Schließlich sind die Möglichkeiten der stofflichen und energetischen Verwertung im Hinblick auf eine weitgehende Schließung von Stoffkreisläufen aufzuzeigen.

Im Rahmen der orientierenden Diskussionen über die Konkretisierung der möglichen Arbeitsthemen des DECHEMA/GDCh-Gemeinschaftsausschusses wurde dem Bereich „Bauen und Wohnen“ eine hohe Priorität zuerkannt. Dieser Bereich stellt in vielfältiger Weise eine zentrale und unvermeidbare Schnittstelle chemischer Stoffe und Produktionsströme mit dem Lebensbereich des Menschen dar. Sowohl die Bausubstanz im Bürobereich als auch im Privatbereich ist zunehmend durch den Einsatz chemisch-synthetischer Bauhilfsmittel und Ausstattungsmittel geprägt. Es schien daher von hohem Interesse, an einem ausgewählten, aber repräsentativen Beispiel der Frage nachzugehen, wie gut der Stofffluss entlang einer Wertschöpfungskette überhaupt erfasst und wenn möglich im Hinblick das Konzept der Nachhaltigkeit bewertet werden kann. Dazu wurde das Thema „*Textile Bodenbeläge: Stoffflussanalyse und Bewertung*“ ausgewählt.

DIESER BERICHT WURDE ERSTELLT UNTER MITARBEIT VON:

Vorsitzende

R. Zellner, Prof. Dr., Essen

J. Klein, Prof. Dr., Braunschweig

Mitglieder und Gäste

R. Augustin, Dr., Aachen

E. Böhm, Dr.-Ing., Karlsruhe

U. Bornewasser, Dr., Leverkusen

J. Grütze, Dr., Leverkusen

M. Herrchen, Dr., Schmallingenberg

W. Klein, Prof. Dr., Schmallingenberg

H. Klingenberger, Dr., Aachen

W. Klöpffer, Prof. Dr., Dreieich

J. Koppenhöfer, Dr., Essen

H. Nöckel, Dipl.-Ing., Aachen

R. Schwabe, Dr., Freising-Weihenstephan

H.-P. Schwenzfeier, Dr., Marl

E. Vankann, Dr., Aachen

J. Wiesner, Dr., Frankfurt

Vollständige Kontaktadressen s. Seite 188

INHALTSVERZEICHNIS

VORWORT	I
INHALTSVERZEICHNIS	III
1. EINLEITUNG UND ZIELSETZUNG	1
2. EINFÜHRUNG IN DIE CHEMIE UND TECHNOLOGIE DER TEXTILEN BODENBELÄGE	4
2.1. PRODUKTIONS- UND HERSTELLUNGSVERFAHREN	4
2.1.1. TUFTINGTEPPICHE	4
2.1.2. NADELVLIES-BODENBELÄGE	8
2.1.3. MASCHINENGEWEBTE TEPPICHE	8
2.2. RÜCKENAUSRÜSTUNG	9
2.2.1. DIE BESCHICHTUNG VON TUFTINGTEPPICHEN	9
2.2.2. DIE VERFESTIGUNG VON NADELFILZEN	12
2.2.3. DIE APPRETUR BEI GEWEBTEN TEPPICHEN	12
2.3. DIE FARBGEBUNG	13
2.3.1. DAS FÄRBEN DES GARNES	13
2.3.2. DAS FÄRBEN DER ROH- ODER HALBFERTIGWAREN ..	13
2.4. AUSRÜSTUNGEN	15
2.5. DAS VERLEGEN VON TEXTILEN BODENBELÄGEN	17
2.6. DIE TEPPICHPFLEGE	18
3. STOFFFLUSSANALYSE UND ENERGIEBILANZ BEI DER HERSTELLUNG TEXTILER BODENBELÄGE	19
3.1. BILANZRAHMEN	19
3.2. DATENVERFÜGBARKEIT UND QUALITÄT	22
3.2.1. DATENLAGE UND ZUGANGSMÖGLICHKEITEN ZU VERLÄSSLICHEN DATENQUELLEN	22
3.2.2. BESCHREIBUNG DES DATENERFASSUNGS- UND BERECHNUNGSSYSTEMS	30
3.3. BILANZIERUNG DER HAUPTSTOFFE DES PRODUKTIONSPROZESSES	32
3.3.1. DAS TUFTINGVERFAHREN	32
3.3.2. NADELVLIESE	72

3.3.3.	<i>GEWEBTE TEXTILE BODENBELÄGE</i>	76
3.3.4.	<i>FARBGEBUNG</i>	80
3.3.5.	<i>BILANZIERUNG VON WASSER UND ENERGIEVERBRAUCH</i>	85
3.4.	SONSTIGE NEBENSTOFFSTRÖME DER PRODUKTION	103
3.4.1.	<i>EMISSIONEN IN DIE LUFT</i>	103
3.4.2.	<i>PRODUKTIONSRESTSTOFFE</i>	108
4.	VERLEGUNG UND NUTZUNG TEXTILER BODENBELÄGE	110
4.1.	EMISSIONEN AUS TEXTILEN BODENBELÄGEN	110
4.2.	VERLEGUNG TEXTILER BODENBELÄGE	119
4.2.1.	<i>EMISSIONEN AUS KLEBSTOFFEN</i>	119
4.2.2.	<i>UNTERSUCHUNGEN AN GEKLEBT VERLEGTE TEXTILEN BODENBELÄGEN</i>	120
4.3.	PFLEGE UND REINIGUNG TEXTILER BODENBELÄGE	125
5.	EMISSIONEN FLÜCHTIGER ORGANISCHER VERBINDUNGEN AUS TEXTILEN BODENBELÄGEN IN DIE INNENRAUMLUFT UND IHRE TOXIKOLOGISCHE BEWERTUNG	127
5.1.	EINFLUSSFAKTOREN BEI DER QUANTITATIVEN BESTIMMUNG VON VOC-EMISSIONEN AUS TEPPICHBÖDEN	127
5.1.1.	<i>ANGABEN DER GEHALTE (SUMMENPARAMETER TVOC)</i>	129
5.1.2.	<i>EMISSIONEN EINZELNER VOC</i>	130
5.1.3.	<i>INHALTSSTOFFE VON REINIGUNGSMITTELN IN DER INNENRAUMLUFT NACH TEPPICHBODENREINIGUNG.</i>	133
5.2.	METHODEN ZUR ABSCHÄTZUNG TOXISCHER WIRKUNGEN ...	133
5.2.1.	<i>ABSCHÄTZUNG ÜBER EIN TIERMODELL ZUR BESTIMMUNG DER SENSORISCHEN REIZWIRKUNG..</i>	133
5.2.2.	<i>ABSCHÄTZUNG ÜBER DEN GERUCHS- SCHWELLENWERT</i>	134
5.2.3.	<i>ABSCHÄTZUNG ÜBER EIN BASISSCHEMA</i>	136
5.2.4.	<i>ABSCHÄTZUNG ÜBER LOWEST CONCENTRATIONS OF INTEREST (LCI-WERTE)</i>	139
5.2.5.	<i>ABSCHÄTZUNG ÜBER DIE TECHNISCHE RICHTLINIE GEFAHRSTOFFE (TRGS) 403</i>	141
5.2.6.	<i>ABSCHÄTZUNG ÜBER ANDERE METHODEN</i>	142
5.3.	TOXIKOLOGISCHE BEWERTUNG VON EINZELSUBSTANZEN ...	143

6.	ENTSORGUNG UND VERWERTUNG VON TEPPICHBÖDEN	151
6.1.	BESCHREIBUNG DES IST-ZUSTANDES	151
6.1.1.	<i>ENTSORGUNG</i>	151
6.1.2.	<i>STOFFLICHE VERWERTUNG</i>	152
6.1.3.	<i>ENERGETISCHE VERWERTUNG</i>	154
6.2.	PERSPEKTIVEN FÜR DIE VERWERTUNG VON ALTTEPPICHBÖDEN	154
7.	PRODUKTVERANTWORTUNG AUS SICHT DER INDUSTRIE ...	157
8.	STOFFFLUSSANALYSE TEXTILER BODENBELÄGE – ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE, BEWERTUNG UND EMPFEHLUNGEN	166
8.1.	STOFFFLÜSSE UND RESSOURCENVERBRÄUCHE IN DER PRODUKTION.....	167
8.2.	EMISSIONEN VON TOXIKOLOGISCH RELEVANTEN SUBSTANZEN WÄHREND DER GEBRAUCHSPHASE UND DEREN RISIKOBEWERTUNG	172
8.3.	ENTSORGUNG UND RECYCLING VON ALTTEPPICHBÖDEN	177
8.4.	ÖKOLOGISCHE VERBESSERUNGEN IN DER PRODUKTION (PROZESSE UND PRODUKTE).....	179
9.	LITERATURVERZEICHNIS.....	181
10.	VERZEICHNIS DER ABKÜRZUNGEN	187
11.	ADRESSENLISTE	188
12.	ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....	191
13.	TABELLENVERZEICHNIS	194

1. EINLEITUNG UND ZIELSETZUNG

Aufgrund der vielfältigen Schnittfläche chemischer Stoff- und Produktströme mit dem Lebensbereich des Menschen kommt dem Thema „*Bauen und Wohnen*“ eine vorrangige Bedeutung bei der Aufgabenstellung der Stoffflussanalyse zu. Noch stärker vom Einsatz von Chemieprodukten geprägt als „*Bauen und Wohnen*“ im allgemeinen ist der Sektor der Ausstattungs- und Gebrauchsgüter von Wohn- und Arbeitsräumen. Hierunter seien genannt: Möbel, Gardinen, Tapeten, Fußbodenbeläge sowie andere mobile Installationen, wie Kühlschränke, TV, etc. Ausstattungs- und Gebrauchsgüter verbleiben mit unterschiedlicher Aufenthaltszeit im Bereich eines Wohnraums oder Büros, bevor im Rahmen eines Erneuerungsbedarfs eine Entsorgungsaufgabe entsteht.

Es ist offensichtlich, dass diese grundlegenden Bedürfnisse des Menschen zuhause und am Arbeitsplatz einen beträchtlichen Stoffstrom „chemischer Produkte“ auslösen, dem eine wirtschaftliche Bedeutung zukommt, der aber auch im Hinblick auf die begrenzte Nutzungszeit eine merkliche Belastung für die Umwelt darstellen kann.

Wesentlich für die Auswahl des Themas „*Textile Bodenbeläge: Stoffflussanalyse und Bewertung*“ war die Tatsache

- dass sie ein Endverbraucherprodukt darstellen, dessen Einsatzstoffe zum größten Teil Produkte der chemischen Industrie sind. Für die Produktion eines modernen textilen Bodenbelags finden Chemiefasern, Polymerdispersionen sowie eine Vielzahl von Textilhilfsmitteln, Ausstattungshilfsmittel und nicht zuletzt Farbstoffe Verwendung;
- dass die mit den textilen Bodenbelägen verknüpften Stoffströme zu den größten gehören, die in den Privat- bzw. Objektbereich führen und damit stark verästeln. Dies führt zu einer begleitenden Verästelung von Seitenströmen, die hinsichtlich möglicher toxischer und ökotoxikologischer Auswirkungen beurteilt werden müssen. Durch die Diskussionsbeiträge der beteiligten Industrievertreter stieß der Arbeitsausschuss auch auf die Arbeiten der „*Gemeinschaft umweltfreundlicher Teppichboden e.V. (GUT)*“, die sich zum Ziel gesetzt hatte, ein industrieweites System zur Produkt- und Produktionskontrolle einzuführen, um schädliche Einflüsse für Umwelt und Verbraucher zu minimieren und im Sinne einer stetigen

Weiterentwicklung von Produkten und Produktionsprozessen einen aktiven Beitrag zur Umweltdiskussion und zum Umweltschutz zu leisten. Da die Mitglieder der GUT alle marktführenden europäischen Teppichproduzenten einschließen, war ein hoher Erfassungsgrad des Datenmaterials zu erwarten. Bereits im Mai 1995 wurde die Durchführung eines Pilotprojekts „*Textile Bodenbeläge: Stoffflussanalyse und Bewertung*“ in Zusammenarbeit mit dem Deutschen Teppichforschungsinstitut (TFI) und mit Unterstützung durch GUT und DECHEMA beschlossen.

Für die Produktion eines modernen textilen Bodenbelags finden Polgarne, Träger und Kaschiergewebe aus Chemiefasern, Polymerdispersionen zur Rückenbeschichtung sowie Textil- und Ausrüstungshilfsmittel Verwendung. Um eine möglichst lückenlose Erfassung der zum Einsatz kommenden Stoffe zu gewährleisten, ist es notwendig, die Produktionsprozesse systematisch zurückzuverfolgen und in Einzelschritte zu zerlegen. Zur Erfassung der beteiligten Stoffströme werden die textilen Bodenbeläge in verschiedene Gruppen unterteilt, die die verschiedenen Herstellungsverfahren reflektieren. Eine solche Einteilung ist notwendig, da in Abhängigkeit vom Herstellungsverfahren auch differenzierte Stoffströme zu betrachten sind. Die konsequente Weiterführung dieser Aufteilung erlaubt auch Einzelstoffe zu benennen, die in Teppichböden einfließen, und andererseits Stoffe mengenmäßig weitgehend zu erfassen.

Insgesamt werden in diesem Bericht alle Stoffmengen und -flüsse betrachtet, die in die Teppichproduktion (Rohstoffe, Energie, etc.) eingehen bzw. von dieser initiiert werden, einschließlich der Einträge in Luft und Wasser und des Abfalls. Darüber hinaus wird der Versuch unternommen, eine Aussage für die Nutzungsphase zu machen und im Hinblick auf die Innenraumluftbelastung zu bewerten.

Da die zur Verfügung gestellten Daten alle marktführenden Teppichproduzenten umfassen, gilt die Aussage dieser Studie für die Produktion textiler Bodenbeläge für Westeuropa allgemein. Um den Stellenwert der Studie aber richtig einordnen zu können, bedarf es folgender wichtiger Hinweise:

1. Alle Daten der Stoffflussanalyse wurden von TFI/GUT zur Verfügung gestellt. Die damit verfügbare Übersicht und die Detailkenntnisse waren eine unerlässliche Voraussetzung für die weitere Bearbeitung der Studie. Sie wäre deshalb nicht möglich gewesen ohne die hervorragende Zusammenarbeit mit GUT und TFI.
2. Die vorliegende Stoffflussanalyse hat neben einer Zahl von belastbaren Aussagen naturgemäß auch Grenzen, die durch die Quantität und Qualität der verfügbaren Informationen gegeben sind und die auch nicht durch die Kooperation mit den beteiligten Industriezweigen weiter aufgeklärt werden konnten. Dennoch liegt mit der vorliegenden Studie erstmals ein Bericht in dieser umfassenden Art vor, der sowohl zum Sachverhalt selbst als auch zur Methodik der Stoffflussanalyse einen wichtigen Beitrag zur weiteren Diskussion leisten kann. Dazu sollen auch die abschließenden Anmerkungen und Empfehlungen Anregung bieten.

2. EINFÜHRUNG IN DIE CHEMIE UND TECHNOLOGIE DER TEXTILEN BODENBELÄGE

Die grundlegende Kenntnis der Teppichkonstruktionen ist Voraussetzung für das Verständnis der in den folgenden Kapiteln durchgeführten Arbeiten. Es erscheint daher angebracht, an dieser Stelle zunächst eine kleine Material- und Sachkunde der gängigen und wichtigsten Konstruktionen der in Europa verwendeten Teppichböden, nämlich zu

- Tuftingteppichen
- Nadelvliesen
- Maschinengewebten Teppichen

vorzuschalten. Andere Konstruktionen wie handgeknüpfte, handgewebte und handgetuftete Teppiche sowie Klebeteppiche, beflockte Bodenbeläge und Maschinenteppeiche sind bezüglich der produzierten Mengen in Europa von nachrangiger Bedeutung und werden deshalb nicht weiter betrachtet.

2.1. PRODUKTIONS- UND HERSTELLUNGSVERFAHREN

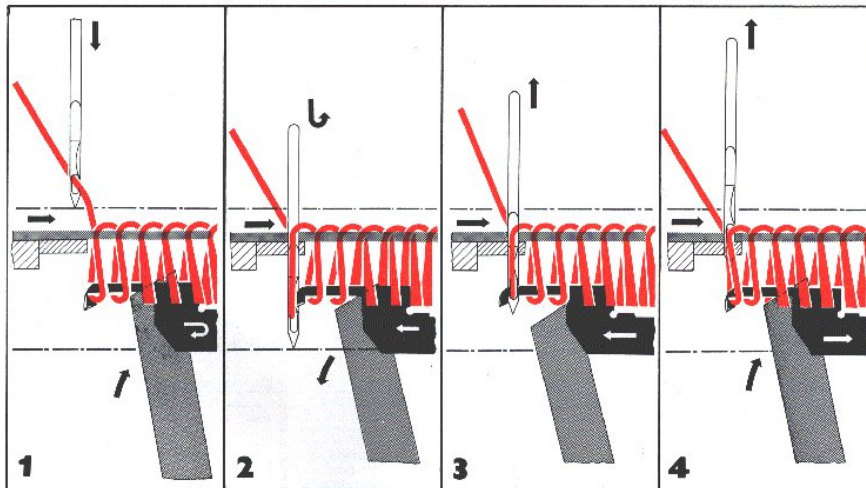
2.1.1. TUFTINGTEPPICHE

Das heute unter dem Begriff *“Tufting”* bekannte Verfahren zur industriellen Herstellung textiler Bodenbeläge ist im Prinzip ein Einnäh- oder Stickverfahren, wie es schematisch in Abbildung 2.1-1 dargestellt ist. Der Polfaden wird in ein Trägermaterial (Gewebe oder Vlies) eingenadelt, nicht eingewebt oder eingeknüpft. Dabei wird eine Reihe von über die gesamte Warenbreite (üblicherweise 4 und 5 Meter) nebeneinander angeordneten Nadeln mit Polgarn versehen und sticht gleichzeitig durch das Grundgewebe. Unterhalb des Grundgewebes wird das Polgarn durch Greifer solange festgehalten, bis die Nadeln wieder nach oben gleiten. Über der gesamten Warenbreite bilden sich auf diese Weise Schlingen. Wird zusätzlich zu jedem Greifer noch ein Messer eingebaut, welches die Schlingen aufschneidet, so wird aus einem Schlingenpolteppich ein Schnittpol- bzw. ein Velourteppich. Die Qualität des fertigen Teppichbodens wird neben den Eigenschaften des Trägers vor allem durch die Eigenschaften des Polmaterials, dessen Dichte (Pol-Rohdichte) und Dicke (Polhöhe) bestimmt. Der Abstand der Schlingen wird durch den Abstand der Nadeln (Nadelteilung) bestimmt, wobei Teilungen zwischen 1/2" und 1/16" (Zoll) üblich sind. Dies entspricht bei einer Warenbreite von 4 m einer Nadelzahl von ca. 300 bis 2500.

Durch die Möglichkeit, bereits gefärbte Garne einzusetzen oder rein weiße Garne zu verwenden, um in späteren Verfahrensschritten dem Teppich seine Farbe zu geben, ist das Tuftingverfahren universell einsetzbar.

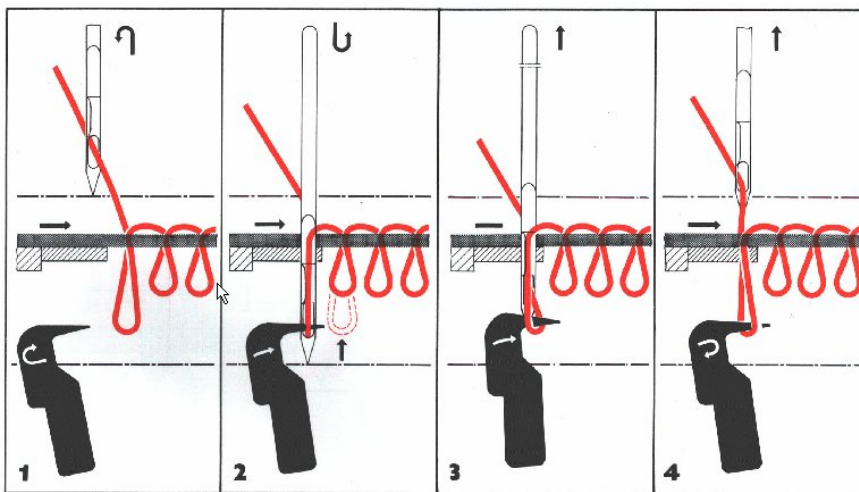
Seit im Jahre 1950 in den USA von den Gebrütern Cobble die erste, damals 1,27 m breite "Tuftingmaschine" in Betrieb genommen wurde, hat sich diese Technik aufgrund der Einfachheit des Herstellungsverfahrens, der großen Vielfalt leicht realisierbarer Dessins und der höheren Produktionsgeschwindigkeit (bis zu 700 m²/h bei modernen, hochoberflächig arbeitenden Maschinen) zum marktbeherrschenden Herstellungsverfahren entwickelt und die bis dahin üblichen Webverfahren verdrängt.

Phasen bei der Herstellung eines Tuftingvelours



- 1) Die **Nadel** beginnt sich zu senken. Das um einen Drehpunkt bewegliche **Messer** hat den höchsten Punkt erreicht und die dritte Schlinge voll aufgeschnitten. Der **Greifer** befindet sich in hinterer Stellung.
- 2) Die **Nadel** erreicht den unteren Umkehrpunkt. Das **Messer** dreht zurück. Der **Greifer** bewegt sich in Richtung Nadel.
- 3) Die **Nadel** geht zurück. Das **Messer** hat die tiefste Stellung erreicht. Der **Greifer** hat sich zwischen Nadel und Garn geschoben und hält die sich bildende Schlinge fest.
- 4) Die **Nadel** bewegt sich am Greifer vorbei aufwärts. Der **Greifer** hält die neu gebildete Schlinge fest und beginnt zurückzugehen. Das **Messer** dreht sich gleichzeitig nach oben und schneidet im Zusammenwirken mit der angeschliffenen Greiferkante die drittletzte Schlinge auf.

Phasen bei der Herstellung einer Tuftingschlinge



- 1) Die **Nadel** beginnt sich zu senken. Die zuletzt erzeugte Schlinge ist gerade vom **Greifer** gerutscht. Sie ist noch länger als die gewünschte Florhöhe. Der Greifer hat die hintere Umkehrstelle erreicht
- 2) Die Nadel hat den tiefsten Punkt erreicht und beginnt sich wieder nach oben zu bewegen. Die vorher erzeugte Schlinge wurde auf die gewünschte Länge zurückgezogen. Der Greifer beginnt gerade mit seiner Spitze zwischen Nadel und Garn zu greifen.
- 3) Die Nadel hat den halben Weg nach oben zurückgelegt. Der Greifer hat die Schlinge übernommen.
- 4) Die Nadel erreicht den oberen Umkehrpunkt. Der Greifer hält immer noch die Schlinge fest: er beginnt aber schon wieder zurückzugehen.

Abbildung 2.1-1: Schematische Darstellung des Tuftingverfahrens

Durch Variationen der Tuftingtechnik können verschiedene dreidimensionale Oberflächenstrukturen erzeugt werden. Die hierzu eingesetzten Verfahren seien nur beispielhaft erwähnt, da die unterschiedlichen Techniken keine signifikanten Auswirkungen auf die zu betrachtenden Materialströme haben.

Bei der *Hoch-Tief-Technik* oder auch *Scroll-Technik* wird eine Oberflächenstruktur mit Reliefcharakter durch die abwechselnde Bildung von hohen und tiefen Noppen erreicht. Werden bei der *Hoch-Tief-Technik* die Polspitzen der hohen Schlingen abgeschoren (man spricht dann von *Tip-sheared*), so bleibt der Reliefcharakter erhalten, wobei neue optische Effekte durch den Wechsel zwischen geschorener Fläche und tieferliegenden Schlingen entstehen. Schneidet man bei der Hoch-Tief-Technik die hohen Schlingen bis auf das Niveau der tiefen Schlingen ab, so verschwindet der Reliefeffekt und die Musterung beruht auf dem Wechsel von Schlinge und Velour (*Level-sheared*).

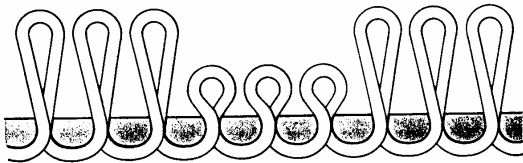


Abbildung 2.1-2: Hoch-/Tiefstruktur eines Tuftingteppichbodens

Bei der Versatztechnik erhält man durch einen seitlichen Versatz des Grundgewebes oder der Nadelbarren regel- oder unregelmäßige Wellen- bzw. Zickzack-Linien. Man unterscheidet zwischen den Versatztechniken *ultratuft* mit einer gleitenden und einer geraden Nadelreihe und *cross-over* mit einer oder zwei Nadelbarren, die versetzt angeordnet sind und bei der sich beim seitlichen Versetzen der Nadeln die Fäden im Rücken überkreuzen. Die *Cut-Loop-Technik* ermöglicht eine Warenoberfläche mit einer Schnitt-/Schlingenkombination, wobei speziell angesteuerte Sperrvorrichtungen an den Greifern bestimmen, welche Noppen aufgeschnitten werden. Mit der Technik des *Overtuft* (ICN= Individually Controlled Needle) lässt sich jede Nadel einzeln nach einem in einen Computer eingegebenen Dessin steuern. Die Nadeln stechen dabei in einen vorher hergestellten Velourteppich ein und erzeugen dann ein zusätzliches Muster, beispielsweise ein Firmenlogo.

2.1.2. NADELVLIES-BODENBELÄGE

Beim Nadelvliesverfahren werden einzelne Fasern auf einer Karde zu einem Vlies geformt. Mehrere solcher übereinander liegender Vliese werden dann mechanisch verfestigt. Dies geschieht durch Spezialmaschinen (üblicherweise 2 Meter breit), auf denen sich mit Widerhaken versehene Nadeln senkrecht zum Vlies auf und ab bewegen. Beim Einstechen der Nadeln in das Vlies werden Fasern oder kleinere Faserbüschel erfaßt und durch das Vlies gezogen. Der lose Zusammenhang des Vlieses wird durch wiederholtes Nadeln zu einem festen Verband, dem mechanisch verfestigten Filz. Um eine dauerhafte Einbindung der Fasern zu gewährleisten, werden Nadelfilz-Bodenbeläge teilweise mit einer niedrigviskosen Latexmischung getränkt. Man spricht dann von Nadelvliesen. Nadelfilze bestehen im allgemeinen aus Chemiefasern (Polyamid, Polypropylen, Polyester). Werden die einzelnen Vliese aus unterschiedlichen Fasertypen oder Fasermischungen hergestellt, so zeigt auch der fertige Belag aufgrund des schichtartigen Aufbaus unterschiedliche Eigenschaften auf der Ober- und Unterseite.

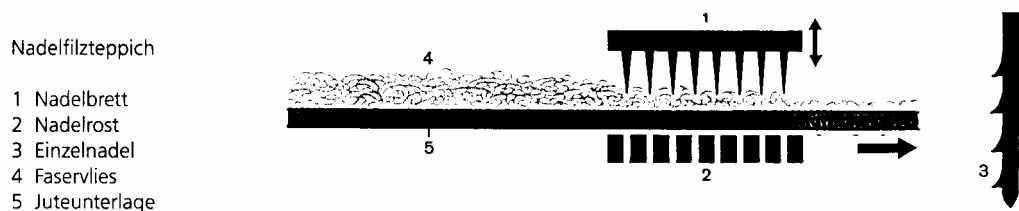


Abbildung 2.1-3: Schematische Darstellung der Nadelvliesherstellung

2.1.3. MASCHINGEWEBTE TEPPICHE

Im Laufe der historischen Entwicklung von Webverfahren wurde eine Vielzahl unterschiedlicher Varianten entwickelt, um dreidimensionale Gewebe herzustellen. Dabei werden in der Regel die Kettfäden in ein Grundgewebe so eingebunden, dass eine dreidimensionale Struktur entsteht. Zur Verdeutlichung des Prinzips dient Abbildung 2.1-4. Für die im Rahmen dieser Arbeit zu behandelnde Problematik ist es jedoch nicht notwendig, auf die einzelnen Varianten einzugehen. Es sei für den Interessierten hier lediglich auf die entsprechende Literatur verwiesen.

Ruten-Bouclé-Teppich

- 1 Rute
- 2 Füllkette
- 3 Oberschuss
- 4 Unterschuss
- 5 Bindekette
- 6 Polkette

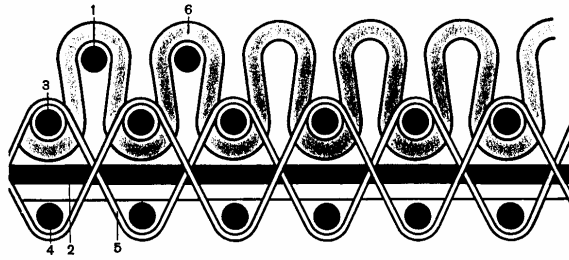


Abbildung 2.1-4: Herstellung eines maschinengewebten Teppichs nach dem Ruten-Verfahren

2.2. RÜCKENAUSRÜSTUNG

Damit textile Bodenbeläge gebrauchstauglich werden, ist eine sogenannte Rückenaustrüstung erforderlich. Dabei wird auf die spätere Unterseite des Belages eine Beschichtung aufgebracht. Die größte Vielfalt der Rückenbeschichtung besteht bei den Tuftingteppichen.

2.2.1. DIE BESCHICHTUNG VON TUFTINGTEPPICHEN

Allen getufteten Teppichböden ist gemein, dass die Rohwaren zwecks Noppen- und Filamenteinbindung zunächst einen sogenannten Vorstrich erhalten. Sie werden danach entweder mit einem Glattstrich versehen oder aber in einem zusätzlichen Verfahrensschritt beschichtet (Schaumrücken) bzw. kaschiert (Textilrücken).

Die beschichteten Beläge werden in solche unterteilt, die lediglich einen Verfestigungsstrich erhalten, und solche, die darüber hinaus noch mit einer Aufbauschicht ausgestattet sind. Die vom Marktanteil her bei weitem bedeutendste Beschichtungsvariante war vor 1996 der Schaumrücken auf Basis von Styrol-Butadien-Latex (SBR). Heute hat sich der Trend zu „textileren“ Bodenbelägen stärker durchgesetzt, so dass mehr Artikel mit Textilrücken als Schaumrücken hergestellt werden. Neben den SBR-Beschichtungen spielen Schaumbeschichtungen aus Polyurethan (PU) mengenmäßig eine untergeordnete Rolle. Zur Kaschierung getufteter Teppichböden mit einem Textilrücken werden vor allem Jute- bzw. Polypropylen-Gewebe eingesetzt. Seltener werden Vliese aus Fasermischungen aufkaschiert. In Sonderfällen, z.B. zur Herstellung selbstliegender Fliesen, wird eine Schwerbeschichtung auf der Basis von ataktischem Polypropylen (aPP), Polyvinylchlorid (PVC), Bitumen,

Polybuten o. a. aufgebracht.

Der Vor- bzw. Verfestigungsstrich

Wesentliche Aufgabe des Vorstriches ist es, eine gute Filament- und Noppeneinbindung zu gewährleisten. Die Erzielung dieser beiden Eigenschaften sind die entscheidenden Kriterien bei der Auswahl geeigneter Vorstrichsysteme. Erfüllt werden diese Anforderungen in hervorragender Weise durch Styrol-Butadien-Latices, was dazu führte, dass heute fast alle getufteten Teppichböden mit einer Polymerdispersion auf Styrol-Butadien-Basis vorgestrichen werden. Daneben sind nur noch Polyurethan- und Naturlatex-Vorstriche von gewisser, wenngleich untergeordneter Bedeutung.

Die SBR-Schaumbeschichtung

Für die Schaumbeschichtungen werden hauptsächlich Syntheselatex-Beschichtungen und, stark eingeschränkt, auch Polyurethan-Beschichtungen eingesetzt. Naturlatex wird, wenn überhaupt, nur in Kombination mit Styrol-Butadien-Latices verarbeitet. Schaumbeschichtungen wirken sich auf eine Reihe von technologischen Eigenschaften des textilen Belags positiv aus, von denen in erster Linie folgende zu nennen sind: Trittelastizität, Strapazierwert, Schallabsorption und Wärmedurchlaßwiderstand.

Die Polyurethan-Schaumbeschichtung

Seit Anfang der siebziger Jahre werden getuftete Teppichböden in industriellem Maßstab mit Polyurethan-Schäumen beschichtet. Der Vorteil dieser Beschichtungsvariante gegenüber Syntheselatex-Beschichtung liegt in den geringeren Energiekosten während der Produktion, denn es müssen keine großen Mengen Wasser verdampft werden. Nachteilig und letztlich damit auch verantwortlich für die geringe Akzeptanz bei den Herstellern wirken sich der zum Teil hohe Preis für die Ausgangsstoffe, aber auch die gegenüber der Latexbeschichtung aufwendigere Technik aus.

Der Textilrücken

Textilrücken, häufig auch textiler Zweitrücken in Anlehnung an den englischen Sprachgebrauch (*secondary backing*) genannt, werden heute üblicherweise in einem Zweistufenverfahren auf die Rohware aufkaschiert, worunter das Auftragen eines Bindemittels und einer zweiten Stoffbahn verstanden wird. Dabei wird der Teppichboden im ersten Produktionsschritt vorgestrichen und im Vortrocknerofen leicht angetrocknet. In einem separaten Schritt wird dann der Kaschierlatex „aufgerakelt“ oder neuerdings auch als Schaum aufgetragen. Anschließend wird der Textilrücken aufgebracht.

Unter den textilen Materialien, die aufkaschiert werden, sind neben Jute vor allem synthetische Gewebe oder Vliese aus PES und PP zu nennen. Während schaumbeschichtete Waren lose verlegt oder geklebt werden können, eröffnet der Textilrücken auch die Möglichkeit des Verspannens, eine Verlegeart, die gerade bei dem heute bestehenden Trend, weniger "Chemie" in Innenräumen zu verwenden, an Bedeutung gewinnt. Auf bauphysikalische Eigenschaften wie Wärme- und Schalldämmung wirkt sich der Textilrücken im Gegensatz zum Schaumrücken weniger positiv aus. Wärmedurchlasswiderstand und Schallabsorptionsgrad werden bei derart ausgerüsteten Teppichböden praktisch ausschließlich durch die Beschaffenheit der Polschicht bestimmt.

Die Schwerbeschichtung

Einen Sonderfall der Teppichrückenausrüstung stellt die Schwerbeschichtung von selbstliegenden (SL) Fliesen dar. Dabei werden die verschiedensten Polymere verwendet, von denen die mengenmäßig wichtigsten Bitumen, Polyvinylchlorid (PVC), und polyolefinische Beschichtungen wie etwa aus ataktischem Polypropylen (aPP) sind. Gelegentlich wird dabei, insbesondere in Kombination mit Bitumen und PVC, zusätzlich eine rückseitige Faservliesabdeckung aufgebracht. Ohne auf die speziellen chemischen und technologischen Eigenschaften jeder einzelnen Rückenbeschichtungsvariante einzugehen, seien einige charakteristische Merkmale der Schwerbeschichtung hervorgehoben.

Besondere Anforderungen werden bei diesen Materialien an die Dimensionsstabilität und die Einhaltung damit verknüpfter Toleranzen gestellt, da eine einwandfreie

Verarbeitung und problemlose Nutzung sonst nicht möglich wäre. Auch muss gewährleistet sein, dass es aufgrund hoher Anforderungen an das Kantenverhalten bei mechanischer Beanspruchung nicht zu Verformungen und Auswalkungen oder Schüsseln bzw. Wölbungen kommt. Um dies zu vermeiden, werden teilweise Glasfasereinlagen in die Beschichtung eingearbeitet.

2.2.2. *DIE VERFESTIGUNG VON NADELFILZEN*

Nadelfilz-Beläge werden entweder ausschließlich mechanisch verfestigt (Nadelfilze; dies ist heute jedoch nicht mehr üblich) oder zusätzlich mit einer Polymerdispersion ausgerüstet (Nadelvliese). Man unterscheidet eine durchgängige Ausrüstung in einem Vollbad, bei der die Nadelfilze in Bindemittel auf Syntheselatex- oder Acrylatbasis getaucht werden, wodurch sich eine zusätzliche Verfestigung ergibt, und das „Pflatschen“, bei dem auf Syntheselatex basierende Bindemittel rückseitig aufgebracht (aufgerakelt/eingepresst) werden. Letzteres Verfahren ergibt relativ weiche, textile Oberseiten mit nicht so hoher Verschleißfestigkeit wie bei einer Vollbadimprägnierung.

2.2.3. *DIE APPRETUR BEI GEWEBTEN TEPPICHEN*

Gewebte Teppiche werden in der Regel mit einer Appretur versehen. Dabei wird ein Bindemittel in bzw. auf das Gewebe zur besseren Filamenteinbindung aufgetragen. Weiterhin wird dadurch eine bessere Verankerung der Noppenbögen in der Grundkonstruktion gewährleistet und die Stabilität der Teppiche verbessert. Bei schweren maschinengewebten Teppichen (Wilton- und Gripper- Axminster- Teppichen) ist diese Ausrüstung jedoch nicht nötig, da diese entsprechend fest gewebt werden können. Verwendet werden, ähnlich wie bei Tufting- Teppichen, Polymerdispersionen.

2.3. DIE FARBGEBUNG

Die große Gestaltungsmöglichkeit von Teppichen beruht unter anderem auf der Tatsache, dass eine Vielfalt von Färbeverfahren verfügbar ist. Diese unterschiedlichen Färbeverfahren werden in den folgenden Abschnitten erläutert.

2.3.1. DAS FÄRBEN DES GARNES

Flockefärbung

Bei der Flockefärbung wird das ungesponnene Fasergut gefärbt. Dieses Färbeverfahren eignet sich für alle Arten von Fasern natürlicher und synthetischer Herkunft. Nach dem Färbvorgang besteht die Möglichkeit, durch das Mischen unterschiedlich gefärbter Fasern Mischöne zu erzeugen. Des Weiteren können durch Mischungen unterschiedlicher Materialien dem fertigen Garn spezielle Eigenschaften verliehen werden (z.B. Wolle/Polyamid, Wolle/Polyacryl, Wolle/ Polypropylen).

Strangfärbung

Bei der Garn- oder Strangfärbung werden die fertigen Garnstränge gefärbt. Das Verfahren eignet sich besonders für kleinere Garnmengen in speziellen Farbnuancen.

Schmelzspinnverfahren

Bei der Spinndüsenfärbung werden die Farbpigmente der Spinnmasse zugegeben. Das so gefärbte Garn (hauptsächlich Polypropylen) kann in den unterschiedlichen Herstellungsverfahren für textile Bodenbeläge eingesetzt werden.

2.3.2. DAS FÄRBEN DER ROH- ODER HALBFERTIGWAREN

Die hier aufgelisteten Färbeverfahren erlauben das Färben von Rohware, d.h. halbfertigen textilen Bodenbelägen, die noch keine Rückenbeschichtung erhalten haben. Der Vorteil gegenüber der Spinn- oder Flockefärbung besteht darin, dass keine kostenintensive Lagerhaltung von unterschiedlich gefärbten Garnspulen nötig ist, sondern alle Teppiche zunächst aus rohweißem Garn gefertigt werden und anschließend auch kleine Partien individuell gefärbt oder bedruckt werden können. Man spricht hier von einer Stückfärbung.

Auszieh-Verfahren

Beim Auszieh-Verfahren wird die Stückware zu einem Schlauch zusammengenäht und während des Färbeprozesses solange durch ein Färbebad gezogen, bis das Polmaterial mit Farbstoffen gesättigt ist. Ein dauernder Kontakt zwischen Färbegut und Behandlungsflotte ist erforderlich, damit der gewünschte Farbstoffaustausch stattfinden kann.

Druckverfahren

Beim Druck-Verfahren findet die Farbgebung mittels gravierter Kupferwalzen statt, die auf der sich gleichförmig bewegenden Ware abrollen, während eine Rakelvorrichtung im Inneren der Walzen die Druckpaste (kalter Farbstoff + Verdickungsmittel) durch Schablonenöffnungen in die Belagsbahn drückt. Zum Fixieren der Färbung durchläuft die Ware einen Dämpfer und anschließend einen Trockner.

Kontinue-Verfahren

Bei dem Kontinue-Verfahren wird zunächst eine Farbflotte auf die vorher warm gewaschene Belagsbahn gleichmäßig aufgetragen. Die Flottenmenge ist so gering, dass sie von der fortlaufenden Bahn transportiert werden kann. Um den Auftrag gleichmäßiger zu machen und zur Verbesserung des Haltes auf der Bahn, enthält die Flotte Verdickungsmittel. Nach dem Farbauftrag durchläuft die Bahn einen Dämpfer, in dem die Farbstoffe auf der Faser fixiert werden. Nach dem Dämpfer wird die Bahn durch einen Trockner geführt.

Kaltverweil-Verfahren

Zur Färbung von Rohware mit Hilfe des Kaltverweilverfahrens wird nach dem Dämpfen der Rohware die Farbe aufgetragen. Die gefärbte Ware wird auf Kaulen gewickelt, die mit Kunststoffolie eingeschlagen werden. Die Kaulen werden während der Verweilzeit an einer Kaulenstation angeschlossen und ständig gedreht. Dabei rotiert die Kaule mit einer solchen Geschwindigkeit, dass die Flotte weder nach außen zentrifugiert wird noch nach unten abfließt. Das Verweilen dauert bei Raumtemperatur ca. 24 h.

2.4. AUSRÜSTUNGEN

Zur Zeit werden fünf nennenswerte Veredelungsverfahren für textile Bodenbeläge verwendet, die im Nachfolgenden dargestellt werden.

Schmutzabweisende Ausrüstung

Um das Anschmutzungsverhalten von Teppichfasern zu verbessern, werden sogenannte anti-soil-Ausrüstungen in Form von langkettigen Fluorcarbonverbindungen oder Polysiloxanen vorgenommen. Dies geschieht in der Regel durch Sprüh- oder Schaumapplikationen im Zusammenhang mit der Rückenaustrüstung, um eine entsprechende Fixierung der schmutzabweisenden Ausrüstung zu erreichen.

Antistatische Ausrüstung

Bei niedrigen Luftfeuchten verlieren Teppichböden durch Austrocknen ihre natürliche Leitfähigkeit. Durch das Begehen kann es dann zu elektrostatischen Personenaufladungen kommen, die beim Berühren von geerdeten Metallen, z.B. Türklinken, zu unangenehmen, aber harmlosen Entladungen führen. Um diesen Effekt zu vermeiden, werden Teppichböden antistatisch ausgerüstet, indem die Leitfähigkeit künstlich erhöht wird. Dies geschieht durch Einarbeiten von leitfähiger Fasern (Stahlfasern, leitfähig modifizierte Chemiefasern) in das Polmaterial sowie durch Einbringen leitfähiger Substanzen (derzeit meist ca. 20. g/m² Trockensubstanz Kaliumformiat) in den Polverfestigungsstrich (Vorstrich).

Antimikrobielle Ausrüstung

Für die normale Nutzung von Teppichboden ist eine antimikrobielle Ausrüstung nicht erforderlich und auch nicht üblich. In Ausnahmefällen, z.B. für die Verlegung im Krankenhaus, kann eine entsprechende Ausrüstung aufgesprüht werden.

Motten- und Käferschutz bei wollhaltigen Teppichen

Mehrere Arten von Insektenlarven sind in der Lage, keratinhaltiges Material wie Wolle als Nahrungsmittel zu nutzen. Zu den keratinverdauenden Insekten zählen ca. 30 Spezies von Mottenlarven und 15 Spezies von Käferlarven, speziell die Gattungen Anthrenus (Teppichkäfer) und Attagenus (Pelzkäfer).

Zum Schutz der Wolle wurden lange Zeit verschiedene Mittel eingesetzt. In den letzten 10 Jahren wurden aber weitestgehend nur noch zwei Materialien zur Ausrüstung von Wollmaterialien verwendet. Hierbei handelt es sich hauptsächlich um das synthetische Pyrethroid Permethrin. Seltener wird noch Sulcofuron, ein Harnstoffderivat, angewendet.

Permethrin wirkt bereits in geringen Konzentrationen sowohl gegen Mottenlarven- als auch gegen Käferlarvenbefall. Entscheidend für eine Verwendung dieses Wirkstoffes ist neben seiner hohen Wirksamkeit bereits bei geringen Einsatzmengen auch seine Beständigkeit. Als empfohlene Höchstmengen für den Einsatz bei textilen Bodenbelägen wurden von seiten der GUT (Gemeinschaft umweltfreundlicher Teppichboden e.V.) 210 mg/kg Wolle für Permethrin festgesetzt. Die Höchstmenge für Sulcofuron beträgt 4000 mg/kg.

Flammhemmende Ausrüstung

Das Brennverhalten von im Baubereich eingesetzten Materialien unterliegt in verschiedenen Ländern gesetzlichen Vorschriften. Dazu gehören auch textile Bodenbeläge. Das Brennverhalten von Teppichen kann durch eine spezielle flammhemmende Rückenbeschichtung verbessert werden. Hierbei wird in der Regel Aluminiumtrihydrat als Füllstoff der Latexbeschichtung anstelle von Kreide verwendet. In Ausnahmefällen werden auch andere Flammenschutzmittel auf Basis von Halogenen, z.B. chlor- und bromhaltige Substanzen verwendet.

2.5. DAS VERLEGEN VON TEXTILEN BODENBELÄGEN

Je nach Teppichbodenkonstruktion und vorgesehener Nutzung werden die textilen Beläge unterschiedlich fest mit dem Untergrund verbunden.

Loses Auslegen

Die Bodenbeläge werden lose ausgelegt und eventuell mit Doppelklebebändern fixiert. Diese Verlegeart findet überwiegend im Wohnbereich Anwendung. Der Vorteil ist die leichte Wiederaufnahme von abgenutzten Teppichen. Die Verlegeart eignet sich allerdings nur für Räume mit bis zu 20 m² Grundfläche und ohne Nähte.

Das Verlegen mit Hafthilfen

Die Beläge werden ganzflächig mit doppelseitig klebenden Hafthilfen, wie Folien oder Gittern verlegt. Mit Hafthilfen verlegte Teppiche lassen sich gut wiederaufnehmen und darüber hinaus auch in größeren Räumen ohne Wellenbildung verlegen.

Das Verkleben

Die Bodenbeläge werden ganzflächig mit Klebstoff geklebt. Der Vorteil dieser Verlegeart ist das ganzflächige Haften am Untergrund auch unter starker Belastung. Nachteilig ist jedoch die Beeinträchtigung des Untergrundes durch die Klebstoffe. Die Wiederaufnahme von Teppichen ist im Vergleich zu den vorher erwähnten Verfahren erschwert, speziell bei Teppichen mit Schaumrücken. Im Objektbereich wird dieses Verfahren bevorzugt eingesetzt.

Das Verspannen

Die Bodenbeläge werden auf einer federnden Unterlage (Wollfilz- oder Schaumunterlage) verlegt. Der Bodenbelag wird anschließend mit Spannwerkzeugen von Wand zu Wand gespannt und am Rande aufgehakt. Diese Verlegeart erhöht den Gehkomfort und Trittschallschutz und verlängert die Lebensdauer des Teppichs. Der Nachteil ist, dass diese Verlegart nur vom Fachmann durchführbar ist, relativ teuer ist und nur Teppiche mit Textilrücken oder Webwaren dafür geeignet sind.

2.6. DIE TEPPICHPFLEGE

Das gute Aussehen von textilen Bodenbelägen und ihre Werterhaltung wird wesentlich von der sachgemäßen Pflege und Reinigung beeinflusst. Die Wahl der Reinigungsverfahren und Geräte ist dabei abhängig von der Materialzusammensetzung und der Konstruktion des textilen Bodenbelags sowie seiner Verlegung.

Es wird unterschieden zwischen der Unterhaltsreinigung (Reinigung mittels eines Staubsaugers) und einer Intensivreinigung. Intensivreinigungen unterscheiden sich durch die jeweils aufgebrauchte Feuchtigkeitsmenge. Verhältnismäßig trocken arbeiten die Pulver- und Padreinigungen. Als Nassreinigungen werden die Sprühextraktion und die Shampooierung jeweils alleine oder als Kombination beider Verfahren angewendet. Für alle Reinigungsarten gibt es Haushaltsgeräte und gewerbliche Reinigungsmaschinen.

In Kapitel 4.3 wird die Pflege und Reinigung textiler Bodenbeläge näher betrachtet.

3. STOFFFLUSSANALYSE UND ENERGIEBILANZ BEI DER HERSTELLUNG TEXTILER BODENBELÄGE

Ziel der vorliegenden Studie ist die exemplarische und methodische Analyse von Stoffströmen, die durch die chemische Industrie hervorgerufen und am ausgewählten Beispiel textiler Bodenbeläge unter Nutzung eines aktuell umsetzbaren, praktikablen Lösungsweges demonstriert werden soll. Ausgehend von diesen Randbedingungen werden pragmatische Teilaussagen mit zum Teil unterschiedlicher Aussageschärfe und ohne Einbindung in die Norm erzielt. Eine Ökobilanz, die allen Anforderungen gemäss ISO 14040 ff entspricht, wird nicht angestrebt. Allerdings werden normenbezogene Termini zur Darstellung des Bilanzierungsansatzes genutzt.

3.1. BILANZRAHMEN

Funktionelle Einheit, auf die die Hauptaussagen bezogen werden, ist die im Jahr 1995 in Westeuropa produzierte Menge an Tufting (687 Mio. m²/a), Nadelvlies (244 Mio. m²/a) und Webware (114 Mio. m²/a).

Der sachliche und räumliche Bilanzrahmen ist modellhaft und umfasst die Produktion der genannten Teppichbodenarten in virtuellen Teppichbodenfabriken in Westeuropa. Dabei wird für jede Teppichbodenart eine Standardrezeptur und ein dafür entwickelter, ebenfalls modellhafter Fertigungsprozess angenommen. Als Input-Größen werden

- Materialeinsatz,
- Wasserentnahme und
- Energieverbrauch (umgerechnet auf Primärenergie)

betrachtet.

Output-Größen sind

- hergestellte Produkte,
- Abwasseranfall, feste Abfälle (Produktionsreststoffe) und
- Emissionen in die Luft.

Nicht betrachtet werden die materiellen Vorketten wie z.B. die Produktion der Textilfaser oder Farbstoffe, Emissionen aus der Energiebereitstellung, Koppelprodukte sowie stoffliche Emissionen in das Produktionsabwasser. Die genannten Bereiche werden aufgrund geringer Datendichte und –homogenität abgeschnitten, um Scheingenauigkeiten bei der Ergebnispräsentation zu vermeiden.

Bezugnehmend auf die Wertschöpfungskette werden neben der bereits genannten Produktion die Phasen der Nutzung und Entsorgung analysiert. Dabei werden die letztgenannten Lebenswegabschnitte unter Zuhilfenahme einer modifizierten funktionellen Einheit bzw. mit geringerer Aussageschärfe erfasst werden.

Aus pragmatischen Gründen wird die Nutzungsphase bezogen auf 1 m² verlegten Teppichboden ohne Angabe eines Zeithorizontes. Quantifiziert werden ausschließlich die maximal möglichen Indoor-Luftemissionen [Menge / m³ oder Menge * m⁻² h⁻¹]; weitere Input- oder Output-Größen werden nicht analysiert. Die Entsorgungsphase wird unter Angabe der Anteile der verschiedenen Entsorgungswege an der entsorgten Menge Teppichböden pro Jahr [Menge / a] analysiert. In ähnlicher Weise werden aufgrund inhomogener Datenlagen oder fehlender Informationen die Reinigung und Pflege der verschiedenen Bodenbeläge argumentativ dargestellt.

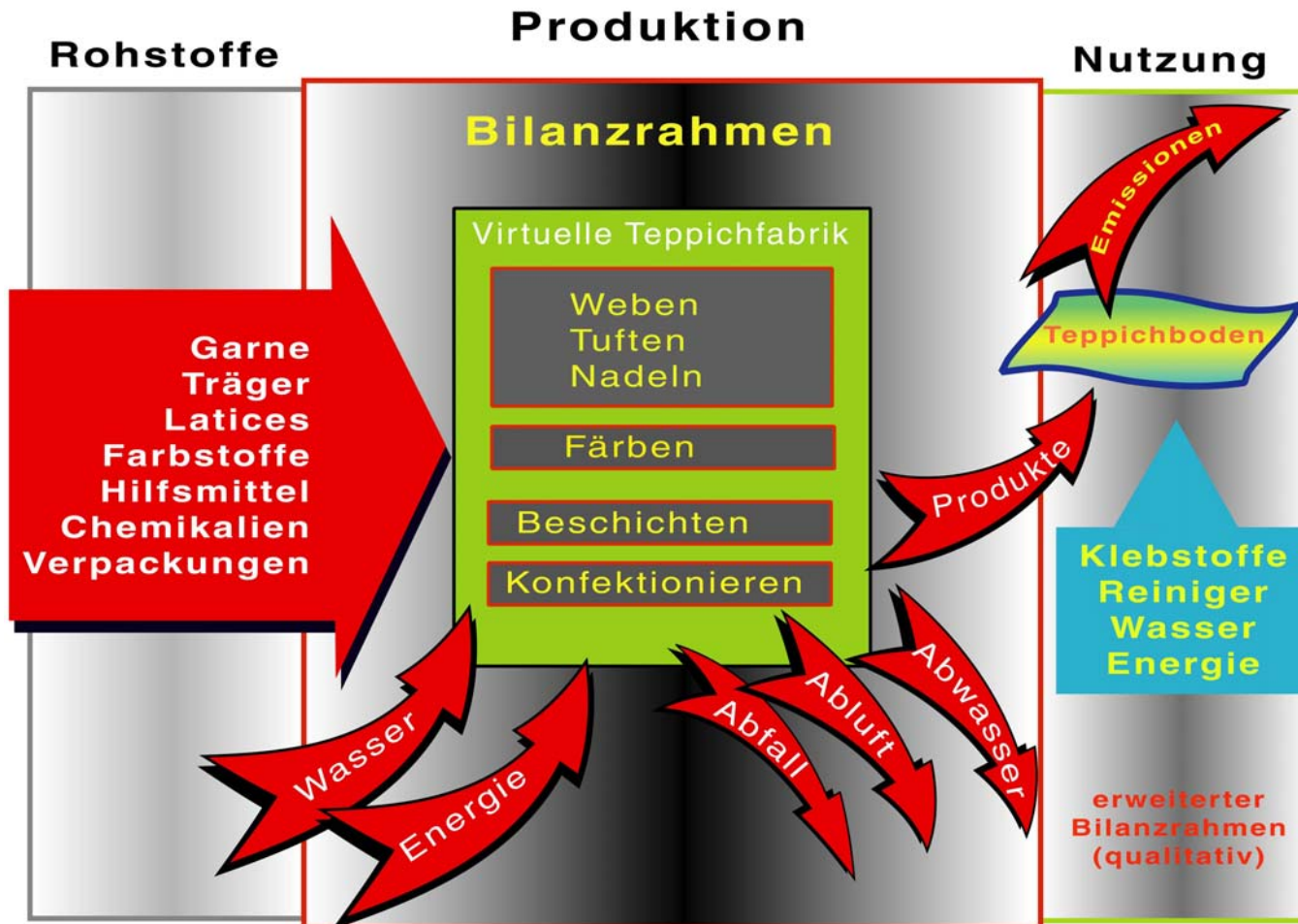


Abbildung 3.1-1: Bilanzgrenzen der Untersuchung

3.2. DATENVERFÜGBARKEIT UND QUALITÄT

3.2.1. DATENLAGE UND ZUGANGSMÖGLICHKEITEN ZU VERLÄSSLICHEN DATENQUELLEN

Daten im Zusammenhang mit textilen Bodenbelägen werden teilweise regelmäßig von Verbänden oder Fachzeitschriften veröffentlicht und sind auf den ersten Blick sofort und ohne größere Probleme erhältlich. Bei genauer Überprüfung der Daten zeigt es sich aber, dass bereits oft ein hohes Aggregationsniveau erreicht worden ist. Rückschlüsse auf Einzelstoffströme sind daher nur selten bzw. gar nicht möglich oder führen zu falschen Aussagen. Dies sei an einem Beispiel kurz erläutert.

Eine Datenquelle ist z.B. die jährliche Veröffentlichung des Deutschen Heimtextilien Verbandes *„Die Heimtextilien Industrie in Zahlen“*. Teppicherzeugnisse werden hier nach *Warengruppen bzw. Produktionstechniken* unterteilt. Diese sind, wie aus Tabelle 3.2-1 zu entnehmen ist, *„Webteppiche“*, *„Tufting-Teppicherzeugnisse“*, *„Nadelvliese“* und *„Sonstige“*. Diese *Warengruppen* werden bezogen auf die produzierten Mengen und ihren Wert betrachtet. Der Tabelle können folgende Informationen direkt entnommen werden:

- Im Jahr 1994 wurden in Deutschland 105,1 Mio. m² Tufting-Teppicherzeugnisse mit einem Gesamtgewicht von 146,4 kt und einem Verkaufswert von 1,6 Mrd. DM hergestellt. Als indirekte Information ist der Tabelle zu entnehmen, dass 1 m² Tufting-Teppichboden, der in Deutschland produziert wird, im Mittel 1,4 kg wiegt und 15,35 DM kostet. Damit ist die Aussagekraft dieser Datenquelle zunächst erschöpft. Auffällig an dieser Tabelle ist auch, dass die Untersuchungen einzelner Zeitreihen (z.B. 1990-1992 bzw. 1991 und 1994) nicht zu den selben Ergebnissen führen.

Eine weitere Detaillierung kann nur durch Kombination dieser Quelle mit anderen Quellen, beispielsweise der abgebildeten Tabelle 3.2-2 „A12“, in der eine *Rohstoffzuordnung* vorgenommen wird, erhalten werden. Es wird unterschieden zwischen *„Wolle“* und *„synthetischen Garnen“*, die zur Teppichproduktion eingesetzt werden.

Für den Tuftingbereich lässt sich folglich ergänzen, dass 1994 4,2 kt Wolle bzw. 137,3 kt Chemiegarnen verarbeitet wurden. Daraus wurden 2,2 Mio. m² Woll- und 100 Mio. m² Chemieartikel hergestellt. Der Materialeinsatz beträgt demnach: 1,9 kg Wolle/m² bzw. 1,4 kg Chemiefasern/m².

Der Vergleich der in beiden Tabellen genannten m²-Angaben zeigt jedoch, dass eine Differenz von 2,8 Mio. m² existiert, was in etwa der Jahresproduktion einzelner deutscher Hersteller entspricht. Des Weiteren ergibt ein unkritischer Vergleich dieser Zahlen, dass ein Tuftingteppich auch nur aus Chemiefasern bestehen kann, denn bei einem Gewicht von 1,4 kg/m² (Tabelle 3.2-1 A10) und einem Materialeinsatz von 1,4 kg/m² (aus Tabelle 3.2-2 A12) sind die Mengen bereits ausbalanciert. An dieser Stelle würde die rein formalistische Auswertung der vorliegenden Daten daher automatisch zu Falschaussagen führen.

Auch unter Zuhilfenahme der abgebildeten Tabelle A8 (s. Tabelle 3.2-3) ist dieser Widerspruch nicht zu lösen. Für das Jahr 1993 weist diese Tabelle einen Materialverbrauch von 121 kt Chemiefasern für die Produktion von Teppicherzeugnissen aus. Es wird auch berücksichtigt, dass diese Zahlen inklusive der jeweiligen Grund- und Trägermaterialien zu verstehen sind. Ein erneuter Vergleich mit Tabelle A12 zeigt allerdings auch hier eine Diskrepanz in den Angaben. Für das Jahr 1993 weist Tabelle A12 einen Chemiefaserverbrauch für Tuftingartikel von 144 kt auf. Werden die 5,3 kt im Bereich der Webwaren noch hinzugerechnet, so stehen den genannten rund 150 kt nur 120 kt aus Tabelle A12 gegenüber. Das bedeutet eine Differenz von 30 kt oder 20%. Diese Widersprüche lassen sich ohne genauere Kenntnis der tatsächlichen Materialzusammensetzung eines textilen Bodenbelags nicht auflösen.

Anmerkung:

Darüber hinaus stellt sich aber auch die Frage, wie genau Stoffströme erfasst werden können. Zu diesem Themenkomplex sind unterschiedliche Auffassungen im Ausschuss diskutiert worden. Der Umgang mit den verfügbaren Daten hat aber letztlich gezeigt, dass eine pragmatische Vorgehensweise unerlässlich ist, da ansonsten eine sinnvolle Abwägung der häufig unterschiedlichen Ergebnisse, abhängig von den benutzten Datenquellen, nicht möglich ist und das Ziel einer methodischen Datenanalyse letztlich der Suche nach dem vermeintlichen Fehler weicht. Dass aber möglicherweise gar kein Fehler vorliegt, sondern die Ursache für die verschiedenen Resultate nur auf einer anderen Form der Datenzusammenstellung beruht, wird häufig erst auf dem zweiten Blick erkennbar. Ein gutes Beispiel ist allein die durch DIN 61 151 verursachte Verwirrung im Hinblick auf die Definition des Begriffes „textiler Bodenbelag“.

In den jährlichen Veröffentlichungen des Deutschen Heimtextilien Verbandes wird von Teppicherzeugnissen gesprochen, die nach Warengruppen oder Herstellungsverfahren zusammengefasst werden, während an anderer Stelle der Rohstoffeinsatz in der deutschen Heimtextilienindustrie betrachtet wurde. Als Untergruppe werden „Teppiche“, „Teppicherzeugnisse“ und „Badteppiche“ aufgeführt. Obwohl sich beide Datenquellen mit „Teppichen“ befassen, sind die Erfassungsgrenzen offensichtlich unterschiedlich. Die Ursache hierfür liegt, wie bereits angedeutet, in der Begriffsdefinition der „DIN 61 151: Textile Fußbodenbeläge“. Danach erfolgt für „textile Fußbodenbeläge“ eine Einteilung nach

- Maßen
- Herstellungstechnik
 - Webteppiche
 - flachgewebt
 - Polteppiche
 - Tuftingteppiche
 - Nadelfilzfußbodenbeläge
 - Nadelvliesfußbodenbeläge
 - Klebpolteppiche
 - Flockteppiche
 - Nähwirkteppiche
- Struktureller Gestaltung der Oberfläche
- Farblicher Gestaltung der Oberfläche
- Beschaffenheit der Unterseite.

Angesichts dieser Aufteilung ist nicht leicht nachvollziehbar, dass unter dem Begriff „Teppiche“ oder „Teppicherzeugnisse“ durchaus unterschiedliches Zahlenmaterial aufgeführt sein kann, woraus sich die häufig beobachteten Diskrepanzen ergeben. Eine Einteilung etwa nach der strukturellen Beschaffenheit der Oberseite führt zu abweichenden Angaben, da in die Kategorie „polartig“ immer Tuftingteppiche gehören, gewebte Teppiche aber nur dann, wenn sie nicht flachgewebt sind. Eine Differenz von 12 Mio. m², entsprechend ca. 21 kt, kann somit leicht entstehen.

Ferner zeigt sich, dass alle verfügbaren Daten mehr oder weniger miteinander verknüpft sind, wobei sich ein Autor auf den anderen beruft und teilweise, wie bei intensiven Nachfragen festgestellt wurde, ursprünglich vom TFI stammende Daten an Dritte weitergeleitet wurden, und von diesen durch weitere Berechnungen zu neuen Daten verarbeitet wurden. Die Aussagekraft solcher Daten kann damit nicht größer sein als die der ursprünglichen Quelle. Eine Schätzung bleibt eben eine Schätzung und wird auch durch häufiges Zitieren nicht besser.

Fast alle in Fachpublikationen veröffentlichten Daten beziehen sich im übrigen auf das ursprünglich in den sogenannten *INTERCONTUFT-Statistiken jährlich veröffentlichte Datenmaterial, einer käuflichen Datensammlung für den Bereich der Teppichproduktion in Europa, oder auf Aussagen des Statistischen Bundesamtes, die letztlich auch nicht genauer sein können als die Meldungen der Wirtschaft, die dort eingehen. Um jedoch nicht auf diese Daten zurückzugreifen, sondern möglichst unabhängig davon eine Stoffflussbetrachtung durchführen zu können, wurde in der vorliegenden Studie ein anderer Weg entsprechend einer Top-Down-Analyse beschritten.

Die Grundlage des hier gewählten Verfahrens zur Datenanalyse bilden sogenannte Standardrezepturen, die zusammen mit Experten aus der Industrie erstellt und abgeglichen wurden. Dabei handelt es sich um Rezepturen, die für jede Teppichart mittlerer Qualität, welche mit einem einfachen, durchschnittlich üblichen Produktionsprozess hergestellt werden, aufgestellt wurden. Angewendet werden diese auf die in Westeuropa im Jahr 1995 produzierte Teppichmenge, die aus einem Abgleich der Daten von INTERCONTUFT, dem Statistischen Bundesamt, dem Deutschen Heimtextilverband, Veröffentlichungen im Internet über Nationale

Teppichproduktionen sowie Herstellerangaben ermittelt wurden. Aus der somit vorgenommenen Top-Down-Analyse werden die entsprechenden Stoffflüsse ermittelt. Alle in Westeuropa produzierten Teppichböden werden also modellhaft einer virtuellen Teppichbodenfabrik mittels einer für jede Teppichbodenart aufgestellten Standardrezeptur und eines dafür entwickelten, ebenfalls modellhaften Fertigungsprozesses zugeordnet. Ändern sich Produktionsmengen einzelner Teppicharten, so können mit Hilfe dieses Modells die neuen Stoffströme schnell und leicht ermittelt werden, da sich aufgrund der zu Grunde gelegten Rezeptur die prozentualen Zusammensetzungen nicht ändern.

Alle verwendeten Daten und ermittelten Zahlen sind nach der ersten Kommastelle gerundet worden. Daher ergeben sich bei allen Rechenoperationen natürliche Rundungsfehler, so dass beim Nachvollziehen der Berechnungen diese nur „vorwärts“ zu lesen sind. Ein prozentuales oder mengenmäßiges Zurückberechnen von den Zwischensummen oder dem Gesamtergebnis aus würde also möglicherweise zu abweichenden Zahlen führen. Die Richtigkeit der Berechnungen und somit die Aussagefähigkeit der ermittelten Zahlen bleibt jedoch trotz der Rundungen im vollen Umfang erhalten.

Produktion an Teppichzeugnissen nach Warengruppen/Produktionstechnik seit 1990												
davon:												
Teppiche und Teppichboden insgesamt	Webteppichherz.			Tufted-Teppichherz.			Teppiche sonst. Verf.			Nadelvliesherz.		
	absolut	Zw.= %	Ant. %	absolut	Zw.= %	Ant. %	absolut	Zw.= %	Ant. %	absolut	Zw.= %	Ant. %
auf Mengenbasis in t												
1990	203.827	+ 1,5	4,4	141.122	- 2,3	69,3	6.548	+ 4,1	3,2	47.115	+ 14,3	23,1
1991	214.551	+ 5,3	4,0	146.124	+ 3,5	68,1	6.631	+ 1,3	3,1	53.233	+ 13,0	24,8
1992	220.433	+ 2,7	3,3	145.949	- 0,1	66,2	7.989	+ 20,5	3,6	59.169	+ 11,2	26,9
1991	231.523	x	4,7	.	x	.	.	x	.	.	x	.
1992	234.830	+ 1,4	4,0	.	x	.	.	x	.	.	x	.
1993	224.597	- 4,4	4,0	153.768	x	68,4	9.389	x	4,2	52.528	x	23,4
1994	218.581	- 2,7	3,9	146.412	- 4,8	67,0	6.506	- 30,7	3,0	57.135	+ 8,8	26,1
auf Mengenbasis in 1000 qm												
1990	166.001	+ 4,3	3,5	109.532	+ 1,5	66,0	1.702	+ 7,3	1,0	48.933	+ 11,1	29,5
1991	174.469	+ 5,1	3,2	114.572	+ 4,6	65,6	1.729	+ 1,6	1,0	52.613	+ 7,5	30,2
1992	177.262	+ 1,6	2,7	111.562	- 2,6	62,9	1.916	+ 10,8	1,1	59.088	+ 12,3	33,3
1991	185.157	x	3,7	.	x	.	.	x	.	.	x	.
1992	186.611	+ 0,8	3,0	.	x	.	.	x	.	.	x	.
1993	172.889	- 7,4	3,1	111.295	x	64,4	3.850	x	2,2	52.460	x	30,3
1994	168.652	- 2,5	3,0	105.164	- 5,5	62,4	2.273	- 41,0	1,3	56.127	+ 7,0	33,3
auf Wertbasis in Mill. DM												
1990	2.478	+ 4,6	10,4	1.692	+ 3,5	68,3	61	+ 1,0	2,5	467	+ 9,5	18,8
1991	2.587	+ 4,4	9,6	1.793	+ 6,0	69,3	60	- 1,9	2,3	486	+ 4,2	18,8
1992	2.541	- 1,8	8,5	1.767	- 1,5	69,5	64	+ 7,8	2,5	494	+ 1,5	19,5
1991	2.689	x	10,4	.	x	.	.	x	.	.	x	.
1992	2.630	- 2,2	9,2	.	x	.	.	x	.	.	x	.
1993	2.442	- 7,2	8,8	1.723	x	70,6	78	x	3,2	426	x	17,4
1994	2.302	- 5,7	9,3	1.614	- 6,3	70,1	62	- 20,0	2,7	413	- 2,9	17,9

Tabelle 3.2-1: Tabelle A 10 aus: „Die Heimtextilien-Industrie in Zahlen“

Produktion an Teppicherzeugnissen nach Rohstoff-Zuordnung seit 1990																		
Webteppicherzeugnisse aus:						Tufted-Teppicherzeugnisse aus:												
Wolle			synth.Filam.garn			synth.Spinnfas.			Wolle			synth.Filam.garn			synth.Spinnfas.			
absolut	Zw.= %		absolut	Zw.= %		absolut	Zw.= %		absolut	Zw.= %		absolut	Zw.= %		absolut	Zw.= %		
auf M e n g e n b a s i s i n t																		
1990	2.163	+ 1,4	(2.050)	- 11,7	(2.992)	+ 14,6	(4.594)	- 14,9	(59.330)	+ 0,9	(72.859)	- 3,8						
1991	1.935	- 10,5	(1.996)	- 2,6	(2.934)	- 1,9	(4.160)	- 9,4	(62.061)	+ 4,6	(77.984)	+ 7,0						
1992	1.580	- 18,3	(1.542)	- 22,7	(2.772)	- 5,5	(4.411)	+ 6,0	(63.109)	+ 1,7	(75.789)	- 2,8						
1991	.	x	.	x	.	x	.	x	.	x	.	x						
1992	.	x	.	x	.	x	.	x	.	x	.	x						
1993	1.866	x	2.608	x	(2.783)	x	(4.977)	x	70.143	x	(74.146)	x						
1994	(1.566)	x	2.980	+ 14,3	(2.497)	- 10,3	(4.156)	- 16,5	(66.956)	x	(70.332)	- 5,1						
auf M e n g e n b a s i s i n 1000 qm																		
1990	1.050	- 0,2	(1.470)	- 7,0	(2.329)	+ 12,2	(2.551)	- 13,3	(46.490)	+ 1,8	(58.064)	+ 2,7						
1991	959	- 8,7	(1.386)	- 5,7	(2.364)	+ 1,5	(2.340)	- 8,3	(49.460)	+ 6,4	(61.291)	+ 5,6						
1992	803	- 16,3	(1.061)	- 23,4	(2.144)	- 9,3	(2.604)	+ 11,3	(47.701)	- 3,6	(59.542)	- 2,9						
1991	.	x	.	x	.	x	.	x	.	x	.	x						
1992	.	x	.	x	.	x	.	x	.	x	.	x						
1993	937	x	1.502	x	(2.061)	x	(2.511)	x	49.100	x	(56.806)	x						
1994	(757)	x	1.698	+ 13,0	(1.847)	- 10,4	(2.202)	- 12,3	(46.907)	x	(53.164)	- 6,4						
auf W e r t b a s i s i n 1000 DM																		
1990	56.320	- 2,8	(65.460)	- 6,3	(107.839)	+ 17,6	(75.523)	- 12,8	(693.702)	+ 3,1	(876.920)	+ 6,2						
1991	47.170	- 16,2	(63.845)	- 2,5	(111.724)	+ 3,6	(71.746)	- 5,0	(774.729)	+ 11,7	(912.438)	+ 4,1						
1992	36.077	- 23,5	(50.764)	- 20,5	(109.082)	- 2,4	(68.775)	- 4,1	(753.527)	- 2,7	(896.134)	- 1,8						
1991	.	x	.	x	.	x	.	x	.	x	.	x						
1992	.	x	.	x	.	x	.	x	.	x	.	x						
1993	35.427	x	51.887	x	(107.663)	x	(68.067)	x	790.319	x	(834.582)	x						
1994	(25.340)	x	62.445	+ 20,3	(98.827)	- 8,2	(55.542)	- 18,4	(724.487)	x	(788.208)	- 5,6						

Tabelle 3.2-2:

Tabelle A 12 aus: „Die Heimtextilien-Industrie in Zahlen“

		Textiler Rohstoffeinsatz im Heimtextilien-Bereich (ohne Decken/Bettwaren) *) seit 1987 - Angaben in to bzw. % Basis to incl. jeweiligem Grund-/Trägermaterial -															
		dar. aus "Chemiefasern"					dar. aus "Naturfasern"										
		Synthetik		darunter:			Zellulose		Wolle		Baumwolle		Flachs		Jute		
				PES	PAC	PA	PP										
insgesamt																	
1987	173.474 = 100,0	142.367 82,1	24.615 14,2	59.512 34,3	25.587 14,7	5.293 3,1	8.841 5,1	15.005 8,6	288 0,2	587 0,3							
1988	175.389 = 100,0	146.059 83,3	22.864 13,0	61.241 34,9	27.273 15,6	4.891 2,8	8.486 4,8	14.131 8,1	275 0,2	486 0,3							
1989	177.126 = 100,0	147.268 83,1	22.181 12,5	61.785 34,9	29.938 16,9	5.185 2,9	8.646 4,9	14.267 8,1	250 0,1	492 0,3							
1990	188.567 = 100,0	157.262 83,4	21.678 11,5	61.884 32,8	36.047 19,1	5.435 2,9	8.310 4,4	15.453 8,2	305 0,2	588 0,3							
1991	201.781 = 100,0	171.491 85,0	21.553 10,7	65.458 32,4	38.573 19,1	5.861 2,9	7.828 3,9	14.766 7,3	221 0,1	324 0,2							
1992	206.139 = 100,0	181.735 88,2	16.042 7,8	69.740 33,8	43.927 21,3	3.584 1,7	7.341 3,6	11.237 5,4	199 0,1	555 0,3							
1993	190.162 = 100,0	160.882 84,6	13.254 7,0	61.784 32,5	44.076 23,2	2.679 1,4	6.872 3,6	11.333 6,0	150 0,1	5.441 2,9							
davon bei:		Teppich-/Teppichbodenzeugnissen incl. Badteppichen (Garnit. u. Einzelst.)															
1993	135.328 = 100,0	120.904 89,3	1.969 1,5	61.604 45,5	44.051 32,5	191 0,1	5.097 3,8	909 0,7	-	5.441 4,0							
		Möbelstoffen (Flachgewebe und Samt/Velours f. Möbel-/Innenausstatt.)															
1993	19.473 = 100,0	13.717 70,5	4.241 21,8	149 0,8	25 0,1	1.231 6,3	1.775 9,1	2.750 14,1	-	-							
		Dekorationsstoffen (ohne Dekosamt)															
1993	20.616 = 100,0	12.252 59,4	6.386 31,0	-	-	962 4,7	-	7.236 35,1	150 0,7	-							
		Gardinen (Meterware und Konfektion)															
1993	14.745 = 100,0	14.009 95,0	658 4,5	31 0,2	-	295 2,0	-	438 3,0	0 0,0	-							

*) veröffentlicht mit Genehmigung der FATM, Münster, aus jährlichen "Rohstoffstudien" - 1994 noch nicht vorliegend

Tabelle 3.2-3:

Tabelle A 8 aus: „Die Heimtextilien-Industrie in Zahlen“

3.2.2. BESCHREIBUNG DES DATENERFASSUNGS- UND BERECHNUNGSSYSTEMS

Im Nachfolgenden wird die für die Durchführung der Stoffflussanalyse angewandte Vorgehensweise zur Berechnung und Erfassung der Daten näher erläutert. Das Produkt „textiler Bodenbelag“ wird dabei zunächst in Produktklassen zerlegt. Im aufgeführten Beispiel (siehe Abbildung 3.2-1) sind dies die Klassen A, B und C. Da textile Bodenbeläge als Meterware produziert werden, wird zweckmäßigerweise auch bei der Datenerfassung die Jahresproduktion in m^2 als zu betrachtende Größe gewählt.

Die so gewählten Produktklassen werden dann weiter in Unterklassen zerlegt, die sich aufgrund ihrer Konstruktionsweisen voneinander unterscheiden. Diese Unterklassen können dann ihrerseits wieder in sogenannte Komponenten zerlegt werden. Dies kann solange wiederholt werden, bis eine Ebene erreicht ist, auf der von der einzelnen Komponente sowohl die produzierte Menge in m^2/a als auch das spezifische Gewicht in kg/m^2 bekannt ist und gleichzeitig eine sinnvolle Aufteilung der Komponenten in Stoffgemische möglich ist.

An dieser Stelle der Stoffflussanalyse lässt sich bereits die für die weiteren Betrachtungen notwendige Gesamtmasse der jeweiligen Komponente in kt/a errechnen. Die Komponenten werden ihrerseits in die Bestandteile zerlegt, wobei die betrachteten Stoffgemische oder Einzelsubstanzen in Massenprozent angegeben werden. Diese Vorgehensweise kann prinzipiell solange wiederholt werden, bis eine bestimmte Einzelsubstanz erreicht wird, doch ist dies nicht in allen Fällen notwendig oder durchführbar.

Beispielrechnungen:

Fragestellung: *Wie viel Polypropylen wird pro Jahr in der Teppichbodenproduktion eingesetzt?*

Annahme: *Polypropylen sei die in Tabelle 3.2.1-3 aufgeführte Einzelsubstanz A, die an insgesamt 3 Stellen genannt wird.*

Diese sind:

- 1) Produktklasse A/Unterklasse A/Komponente A1/Stoffgemisch A /Einzelsubstanz A
- 2) Produktklasse A/Unterklasse B/Komponente B1/Stoffgemisch E/Einzelsubstanz A
- 3) Produktklasse A/Unterklasse B/Komponente B1/Stoffgemisch G/Einzelsubstanz A

Damit ergeben sich die folgenden Berechnungen.

ad 1) $0,6 \cdot 0,5 \cdot 2 \text{ kg/m}^2 \cdot 300 \text{ Mio. m}^2/\text{a} = 180 \text{ kt/a}$

ad 2) $0,1 \cdot 0,7 \cdot 1 \text{ kg/m}^2 \cdot 150 \text{ Mio. m}^2/\text{a} = 10,5 \text{ kt/a}$

ad 3) $0,6 \cdot 0,1 \cdot 1 \text{ kg/m}^2 \cdot 150 \text{ Mio. m}^2/\text{a} = 9 \text{ kt/a}$

Die folgenden Aussagen werden somit möglich:

Für die Produktion der Komponente B1 werden 19,5 kt PP pro Jahr verbraucht.

In die Produktklasse A fließen 199,5 kt PP pro Jahr. In das Produkt textiler Bodenbelag fließen diese 199,5 kt PP zuzüglich der für die Produktklassen B und C errechneten Mengen.

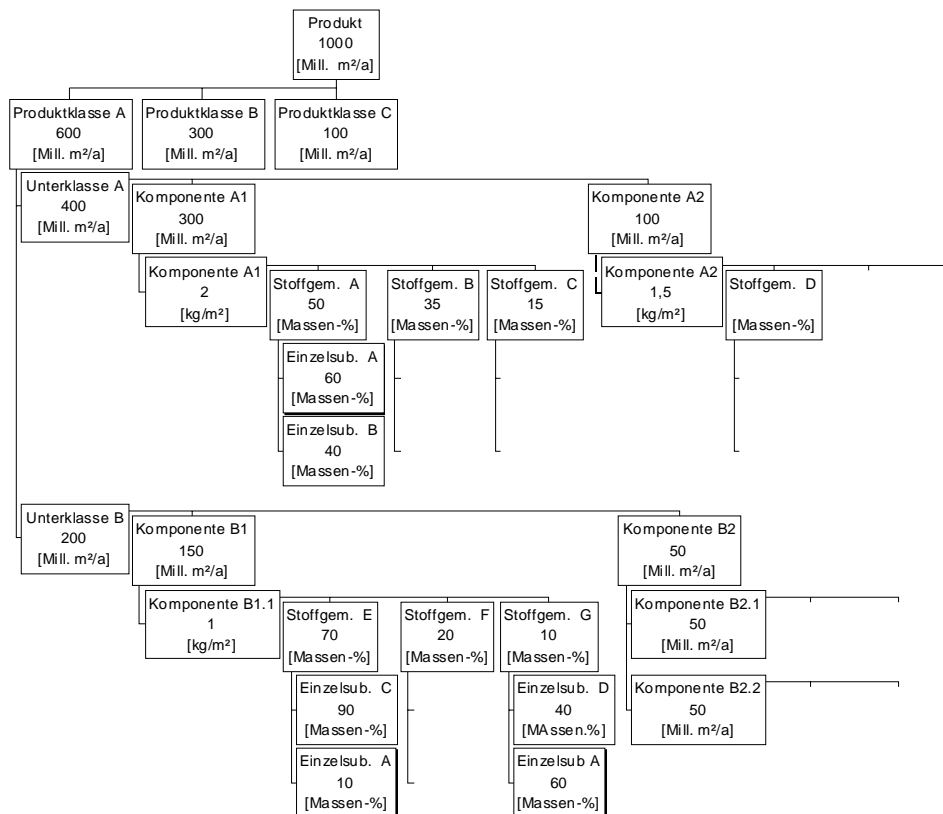


Abbildung 3.2-1: Beispiel des Datenerfassungs- und Rechenschemas

3.3. BILANZIERUNG DER HAUPTSTOFFE DES PRODUKTIONSPROZESSES

Um mit der Stoffflussanalyse an einer sinnvollen Stelle beginnen zu können, ist es notwendig, sich einen Überblick über die in Deutschland bzw. in Westeuropa pro Jahr hergestellten Mengen textiler Bodenbeläge zu verschaffen. Angaben hierzu sind in vielfältiger Form zu erhalten (s. Kap. 3.2). Eine Aufbereitung dieser Daten nach hergestellten bzw. verbrauchten Mengen ist in der Abbildung 3.3-1 und Abbildung 3.3-2 zu finden.

Wie dem Schema in Abbildung 3.3-1 zu entnehmen ist, wurden 1995 in Westeuropa 1045 Millionen Quadratmeter hergestellt. Der größte Produzent war Belgien mit ca. 40% der Gesamtproduktion, gefolgt von Deutschland mit 16%. Die Gesamtproduktion von 1045 Millionen m² teilt sich nach den typischen Herstellungsverfahren auf in 65,7% Tuftingteppiche, 21,5% Nadelvliese, 10,9% Webwaren sowie einen Rest, der aus den verschiedenen Gründen (einige wurden in früheren Kapiteln genannt) schwer bzw. gar nicht zu erfassen ist und daher an dieser Stelle nicht weiter betrachtet wird.

Der Verbrauch textiler Bodenbeläge im Jahr 1995 zeigt ein anderes Bild. Nur 86% der hergestellten Artikel werden auch in den Ländern Westeuropas verbraucht. Ein Teil wird exportiert, ein anderer Teil kann zumindest bezogen auf das Jahr 1995 als Überproduktion bezeichnet werden. Interessant ist die geänderte Reihenfolge innerhalb der Länder. Während Belgien die Nummer 1 in der Produktion ist, liegt es mit nur 4% des Gesamtverbrauches weit hinten. Deutschland gefolgt von Großbritannien sind hingegen die größten Verbrauchsnationen.

3.3.1. DAS TUFTINGVERFAHREN

Die nach dem Tuftingverfahren hergestellten Bodenbeläge bilden die größte und am besten dokumentierte Gruppe innerhalb der textilen Bodenbeläge. Alle Daten werden auf die europäische Gesamtproduktion im Jahr 1995 bezogen. Eine Umrechnung der Daten auf die Gegebenheiten des deutschen Marktes ist anhand der m²-Zahlen leicht möglich und kann jeweils für das aktuelle Jahr durchgeführt werden. Hierzu können die jeweiligen Tabellen benutzt werden.

In Abbildung 3.3-3 ist die oberste Ebene der strukturierten Stoffflüsse für die Produktklasse „textiler Bodenbelag“ separat dargestellt. Die Produktklasse Tufting-Teppiche wird im Folgenden in ihre Hauptbestandteile

- Polmaterial (pile material)
- Träger (carrier)
- Beschichtung (coating)

zerlegt. Diese Einteilung wurde gewählt, da hierdurch eine sinnvolle Betrachtung der einzelnen Stoffströme, die zur Herstellung der einzelnen Bestandteile nötig sind, erfolgen kann.

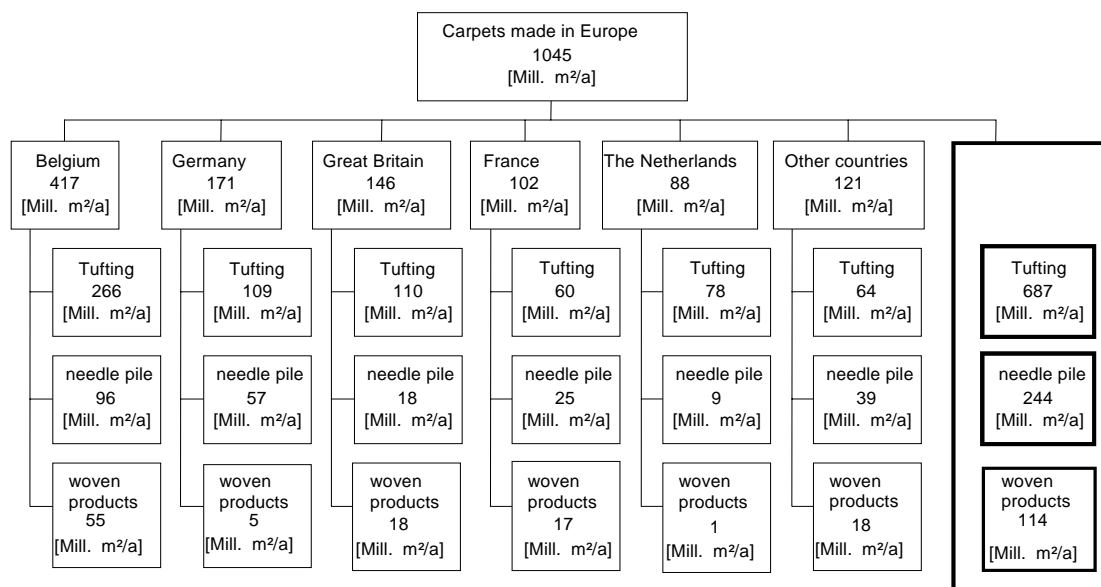


Abbildung 3.3-1: 1995 in Westeuropa hergestellte textile Bodenbeläge aufgeteilt nach Ländern und Produktklassen

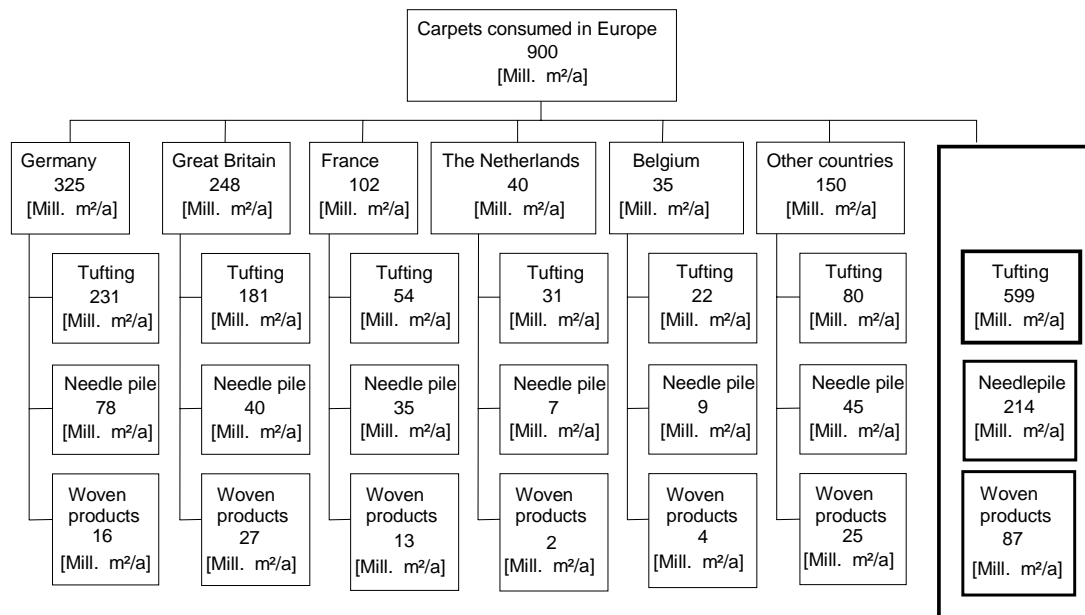


Abbildung 3.3-2: 1995 in Westeuropa verbrauchte textile Bodenbeläge aufgeteilt nach Ländern und Produktklassen

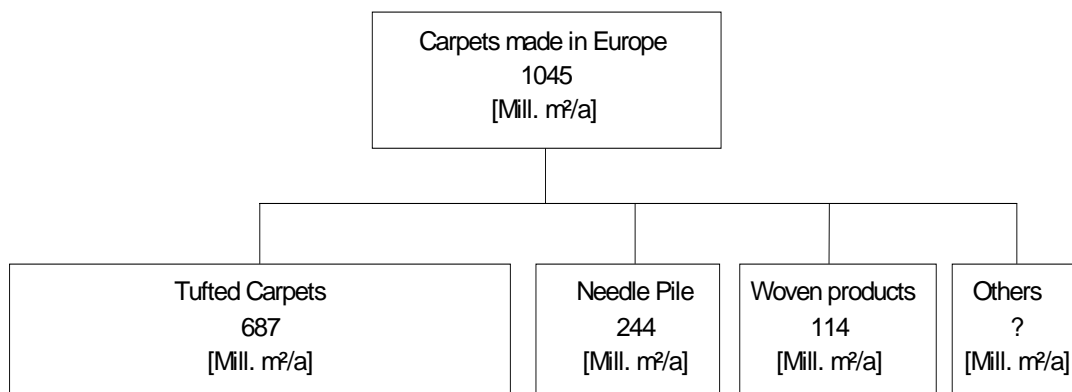


Abbildung 3.3-3: Aufteilung der produzierten Menge textiler Bodenbeläge in Produktklassen

Bei einem Verbrauch von 325 Mio. m² an textilen Bodenbelägen in Deutschland (s. Abb. 3.3-2) errechnet sich, 82 Mio. Einwohner zugrunde gelegt, ein Pro-Kopf-Verbrauch von ~ 4 m². Bei einem durchschnittlichen Gewicht von 1,68 kg/m² entspricht dies einem Verbrauch von 6,66 kg pro Kopf.

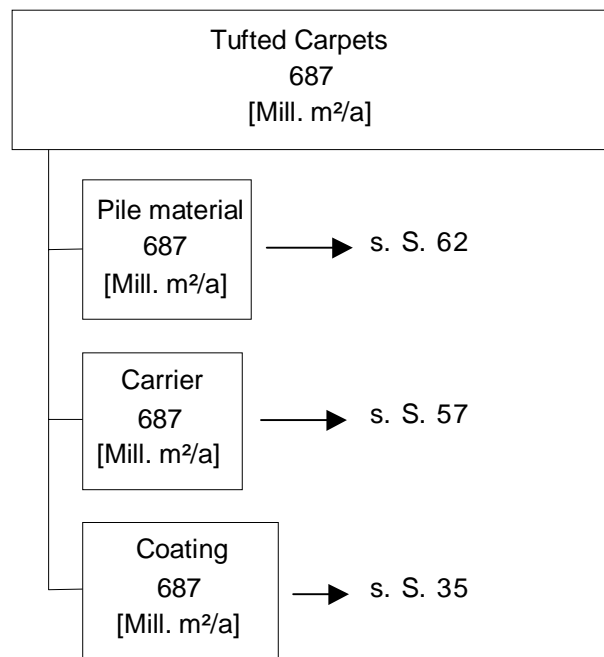


Abbildung 3.3-4: Hauptbestandteile und Produktionsmengen eines Tufting-Teppichs

Die Rückenausrüstung

Allen getufteten Teppichböden gemein ist, dass die Rohwaren zwecks Noppen- und Filamenteinbindung zunächst einen sogenannten Vorstrich erhalten. Danach werden sie auf unterschiedlichste Weise in zusätzlichen Verfahrensschritten beschichtet. Die unterschiedlichen Beschichtungsvarianten teilen sich entsprechend den in Abbildung 3.3-5 angegebenen Mengen in

- Schäume
- Textile Rückenbeschichtung
- Schwerbeschichtung
- nicht spezifiziert

auf. Seit 1995 ist der Anteil textiler Rückenbeschichtungen noch weiter angewachsen.

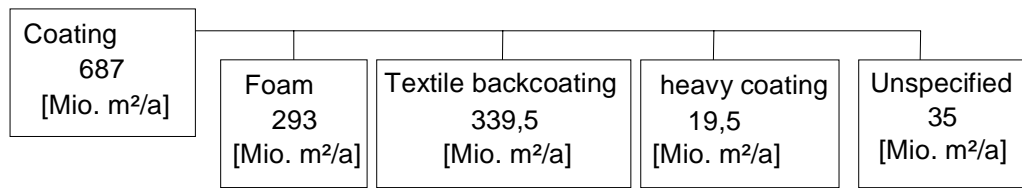


Abbildung 3.3-5: Beschichtungsvarianten für Tufting-Teppiche

Der Vorstrich

Die Standardrezepturen der Vorstriche für die einzelnen Beschichtungsvarianten unterscheiden sich in ihrer Zusammensetzung nur unwesentlich. Die Gesamtmenge des Vorstrichauftrags beträgt in allen Fällen etwa 0,6 kg/m². Lediglich im Falle der Schwerbeschichtung wurden die vorhandenen Rezepturen angepasst, um auch die darin vorkommenden Stoffe berücksichtigen zu können. Ein Überblick über die Standardvorstrichrezepturen findet sich in der nachfolgenden Abbildung 3.3-6.

Im Falle der Schaumbeschichtung setzt sich der Vorstrich aus einem x-SBR-Latex (Styrol/Butadien-Copolymer mit unterschiedlichen Anteilen einer carboxylgruppenhaltigen, in das Polymermolekül eingebauten dritten Monomerkomponente) mit einem Massenanteil von 30%, Wasser <10%, Füllstoff 59% und Zusätzen <1% zusammen.

Der x-SBR-Latex selbst setzt sich aus 50 Massen-% Polymeranteil, 49,94 % Wasser und 0,06 % organischen Restbestandteilen zusammen. Als Füllstoff wird üblicherweise Kreide eingesetzt oder alternativ als Flammschutzmittel $\text{Al}(\text{OH})_3$. Als Zusätze finden sich Emulgatoren, Verdicker, Netzmittel, Anitstatika und sonstige Hilfsmittel, sowie Kettenlängenregler als Restbestandteilen aus der Polymerisationsphase der Latices.

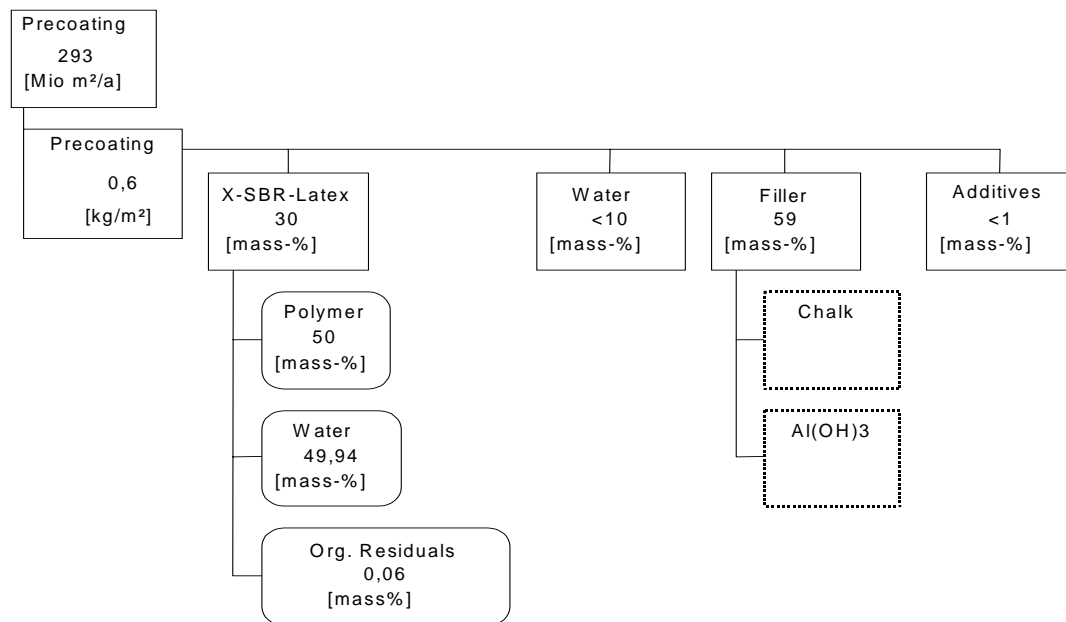


Abbildung 3.3-6: Bestandteile eines Vorstrichs für Tufting-Teppiche (Schaumbeschichtung)

Die Schaumbeschichtung

Zur Schaumbeschichtung der vorgestrichenen Teppichböden mit SyntheselateX werden komplexere Rezepturen als jene für den Vorstrich notwendig. Drei prinzipielle Schaumvarianten haben sich in der Praxis bewährt. Diese sind:

- Non-Gel Schäume
- Natriumsilicofluorid (NSF)-gelierte Schäume
- Ammoniumacetat (AA)-gelierte Schäume.

Die nach den vorgenannten Verfahren erzeugten Schäume stellen kautschukelastische Systeme dar, die erst durch die Vulkanisation gummielastische und damit gebrauchsfähige Eigenschaften erhalten. Die Schäume werden schwefelvernetzt, wobei zur Vulkanisation äußerst wirksame Beschleuniger bzw. Beschleuniger-Kombinationen sowie Aktivatoren eingesetzt werden, die in der Lage sind, den recht reaktionsträgen S8-Ring zu aktivieren und die Vernetzung einzuleiten. Schaumbeschichtungen werden üblicherweise mit einer Austragsmenge von 0,8 kg/m² hergestellt.

Bei den Non-Gel-Schäumen werden 42 Massen-% SBR-Latex, 8% Vulkanisationspaste, 45% Füllstoff, 2% Wasser, 1,5% Verdickungsmittel und 1,5% Hydrophobierungsmittel eingesetzt. NSF-gelierte Schäume werden nicht so hoch mit

Kreide gefüllt und enthalten 56 Massen-% SBR-Latex, 6 % Vulkanisationspaste, 27 % Füllstoff, 5% NSF-Suspension, 5% Compoundstabilisatoren und 1 % Verdickungsmittel. Nach dem Ammon-Acetat-Verfahren gelierte Schäume bestehen aus 42 % SBR-Latex, 4 % Vulkanisationspaste, 38% Füllstoff, 0,6 % NH₃-Lösung, 1 % Verdickungsmittel, 8 % Compoundstabilisatoren und 0,1 % Porenregulans.

In allen drei Fällen besteht der *SBR-Latex* zu 67 % aus Polymeranteil, 31.92 % Wasser, >1 % Emulgatoren und organischen Restbestandteilen von 0,08 %. Die *Vulkanisationspasten* bestehen aus Schwefel, Alterungsschutzmitteln, Aktivatoren, Vulkanisationshilfsmitteln, Beschleunigern, sonstigen Zusätzen, Wasser und, im Falle der Non-Gel-Schäume, zusätzlichen oberflächenaktiven Substanzen mit verschiedenen Anteilen.

Als *Füllstoff* wird ausschließlich Kreide eingesetzt. Als *Verdickungsmittel* werden Carboxymethylcellulosen, Methylcellulosen und Hydroxyethylcellulosen eingesetzt, als *Hydrophobierungsmittel* findet eine Paraffinemulsion Verwendung. Die *NSF-Suspension* ist eine wässrige Lösung von Natriumsilikofluorid, Bentonit und KOH. Als Compoundstabilisatoren finden wässrige Lösungen von Kaliumoleat Verwendung. Die Geliemittellösung für den AA-Schaum ist eine wässrige Lösung von Ammoniumacetat und Ammoniak. Als Regulans für die Porengröße findet eine wässrige Silikonölemulsion Verwendung. Die tabellarische Zusammenfassung der aus den strukturierten Flussdiagrammen berechneten Einsatzmengen liefert einen ersten Überblick über die für die einzelnen Beschichtungsvarianten gebräuchlichen Materialströme (s. Abb 3.3-7 bis 3.3-9 und Tab. 3.3-1 bis 3.3-3).

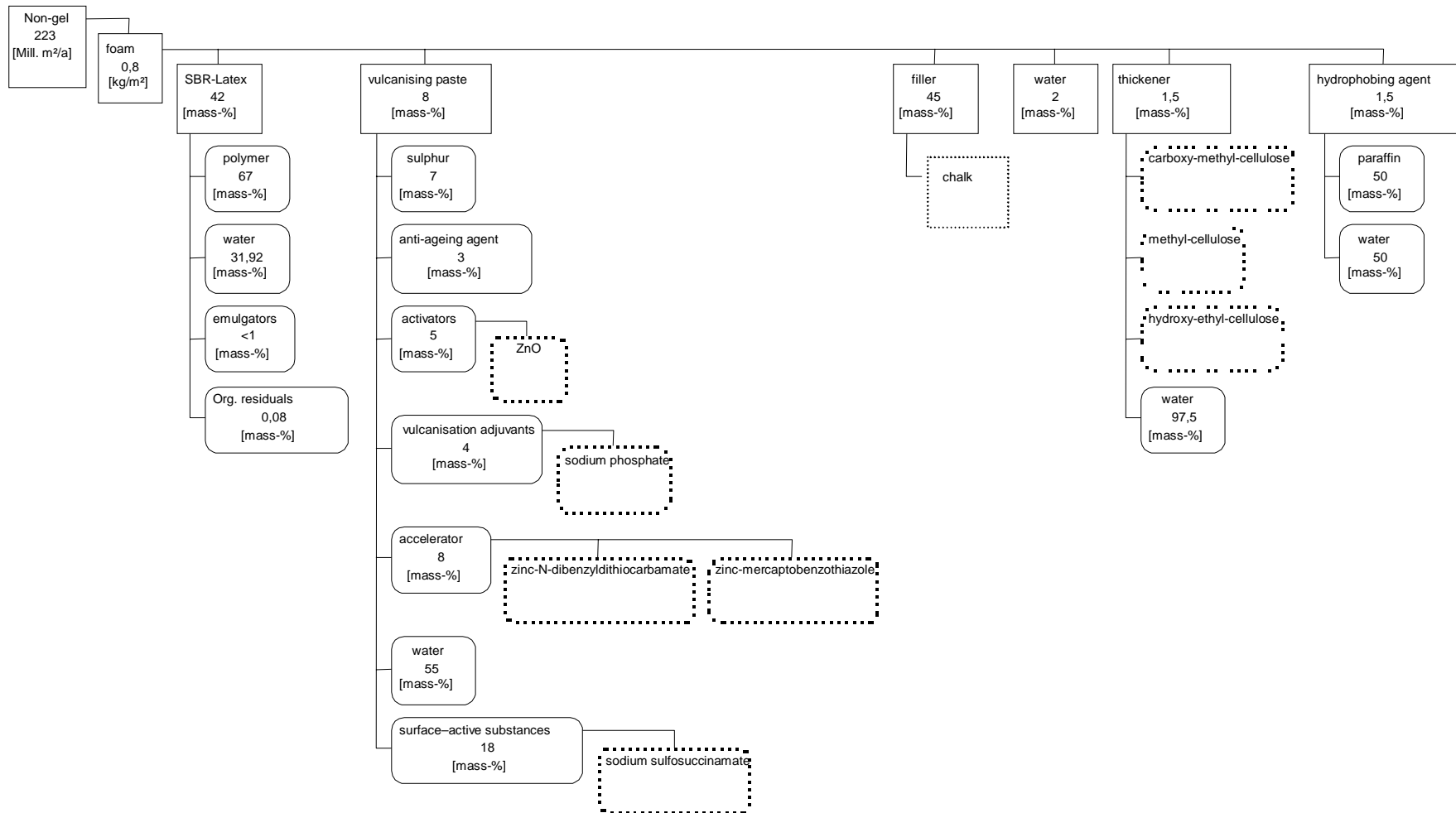


Abbildung 3.3-7: Datenstruktur der Massenflüsse für Non-Gel Schaumsysteme

Tabelle 3.3-1: Zusammenfassung der Ergebnisse des Teilstoffstromes für Non-Gel Schaumbeschichtungen					
	Materialzusammen- setzung	Anteil des Materials [%]	produzierte Menge [Mio. m ² /a]	Einsatzgewicht [kg/m ²]	Bruttomaterial- einsatz [kt/a]
Vorstrich					
	x-SBR-Latex	30%	223	0,6	40,2
	<i>Polymer</i>	50%			20,1
	<i>Wasser</i>	49,94%			20,1
	<i>org. Restbestdt.¹</i>	0,06%			0,02
	Wasser	10%	223	0,6	13,4
	Füllstoffe	59%	223	0,6	79,0
	Zusätze	1%	223	0,6	1,3
Zwischensumme					133,9
Schaum					
	SBR-Latex	42%	223	0,8	75,0
	<i>Polymer</i>	67%			50,2
	<i>Wasser</i>	31,92%			23,9
	<i>Emulgatoren</i>	1%			0,7
	<i>org. Restbestdt.¹</i>	0,08%			0,06
	V-Paste	8%	223	0,8	14,3
	<i>Schwefel</i>	7%			1,0
	<i>Alterungsschm.²</i>	3%			0,4
	<i>Aktivatoren</i>	5%			0,7
	<i>V-Hilfsmittel³</i>	4%			0,6
	<i>Beschleuniger</i>	8%			1,1
	<i>Wasser</i>	55%			7,9
	<i>oberflakt. Subst.⁴</i>	18%			2,6
	Füllstoffe	45%	223	0,8	80,3
	Wasser	2%	223	0,8	3,6
	Verdickungsm.⁵	1,5%	223	0,8	2,7
	<i>Cellulosen</i>	2,5%			0,1
	<i>Wasser</i>	97,5%			2,6
	Hydroph.-mittel⁶	1,5%	223	0,8	2,7
	<i>Paraffin</i>	50%			1,34
	<i>Wasser</i>	50%			1,34
Zwischensumme					178,6
Rohstoffeinsatz			223	1,4	312,5
davon Wasser			223	0,3	72,8
Schaumrücken (non-gel) trocken			223	1,1	239,7

¹⁾organische Restbestandteile, ²⁾Alterungsschutzmittel, ³⁾Vulkanisationshilfsmittel,

⁴⁾oberflächenaktive Substanzen, ⁵⁾Verdickungsmittel, ⁶⁾Hydrophobierungsmittel

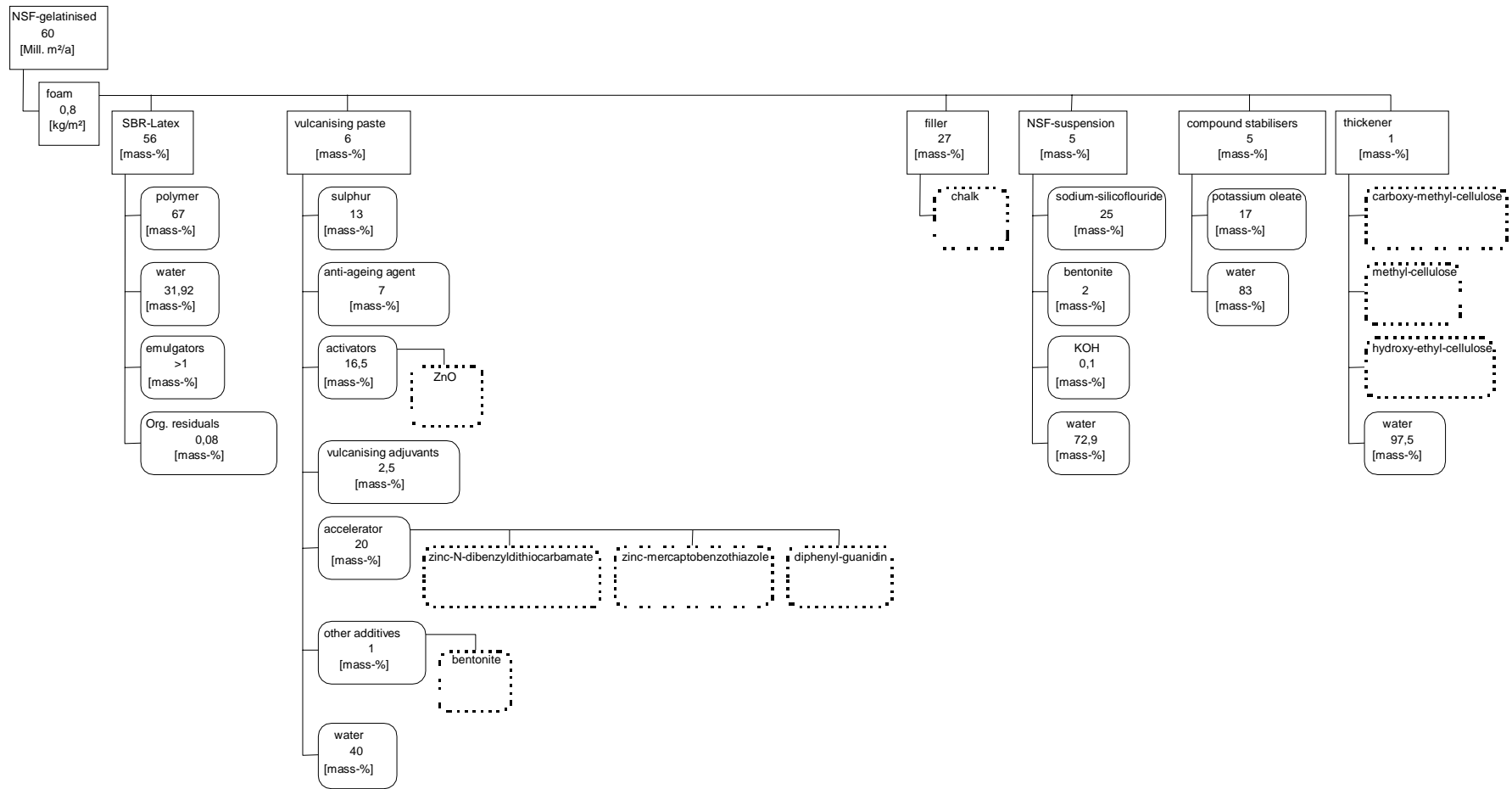


Abbildung 3.3-8: Datenstruktur der Massenflüsse für NSF-Schaumsysteme

Tabelle 3.3-2: Zusammenfassung der Ergebnisse des Teilstoffstromes für NSF-gelierte Schaumbeschichtungen					
	Materialzusammensetzung	Anteil des Materials	produzierte Menge [Mio. m ² /a]	Einsatzgewicht [kg/m ²]	Bruttomaterialeinsatz [kt/a]
Vorstrich					
	x-SBR-Latex	30%	60	0,6	10,8
	<i>Polymer</i>	50%			5,4
	<i>Wasser</i>	49,94%			5,4
	<i>org. Restbestdt.</i>	0,06%			0,01
	Wasser	10%	60	0,6	3,6
	Füllstoffe	59%	60	0,6	21,2
	Zusätze	1%	60	0,6	0,4
Zwischensumme					36,0
Schaum					
	SBR-Latex	56%	60	0,8	26,9
	<i>Polymer</i>	67%			18,0
	<i>Wasser</i>	31,92%			8,6
	<i>Emulgatoren</i>	1%			0,3
	<i>org. Restbestdt.</i>	0,08%			0,02
	V-Paste	6%	60	0,8	2,9
	<i>Schwefel</i>	13%			0,37
	<i>Alterungsschm.</i>	7%			0,20
	<i>Aktivatoren</i>	16,5%			0,48
	<i>V-Hilfsmittel</i>	2,5%			0,07
	<i>Beschleuniger</i>	20%			0,58
	<i>Wasser</i>	40%			1,15
	<i>sonstige Zusätze</i>	1%			0,03
	Füllstoffe	27%	60	0,8	13,0
	NSF-Suspension	5%	60	0,8	2,4
	<i>Natriumsiliko-fluorid</i>	25%			0,60
	<i>Bentonit</i>	2%			0,05
	<i>KOH</i>	0,1%			0,0024
	<i>Wasser</i>	72,9%			1,75
	Compoundstab.	5%	60	0,8	2,4
	<i>Kaliumoleat</i>	17%			0,4
	<i>Wasser</i>	83%			2,0
	Verdickungsm.	1%	60	0,8	0,5
	<i>Methylcellulosen</i>	2,5%			0,01
	<i>Wasser</i>	97,5%			0,5
Zwischensumme					48,1
Rohstoffeinsatz			60	1,4	84,1
davon Wasser			60	0,4	23,0
Schaumrücken (NSF-geliert) trocken			60	1,0	61,1

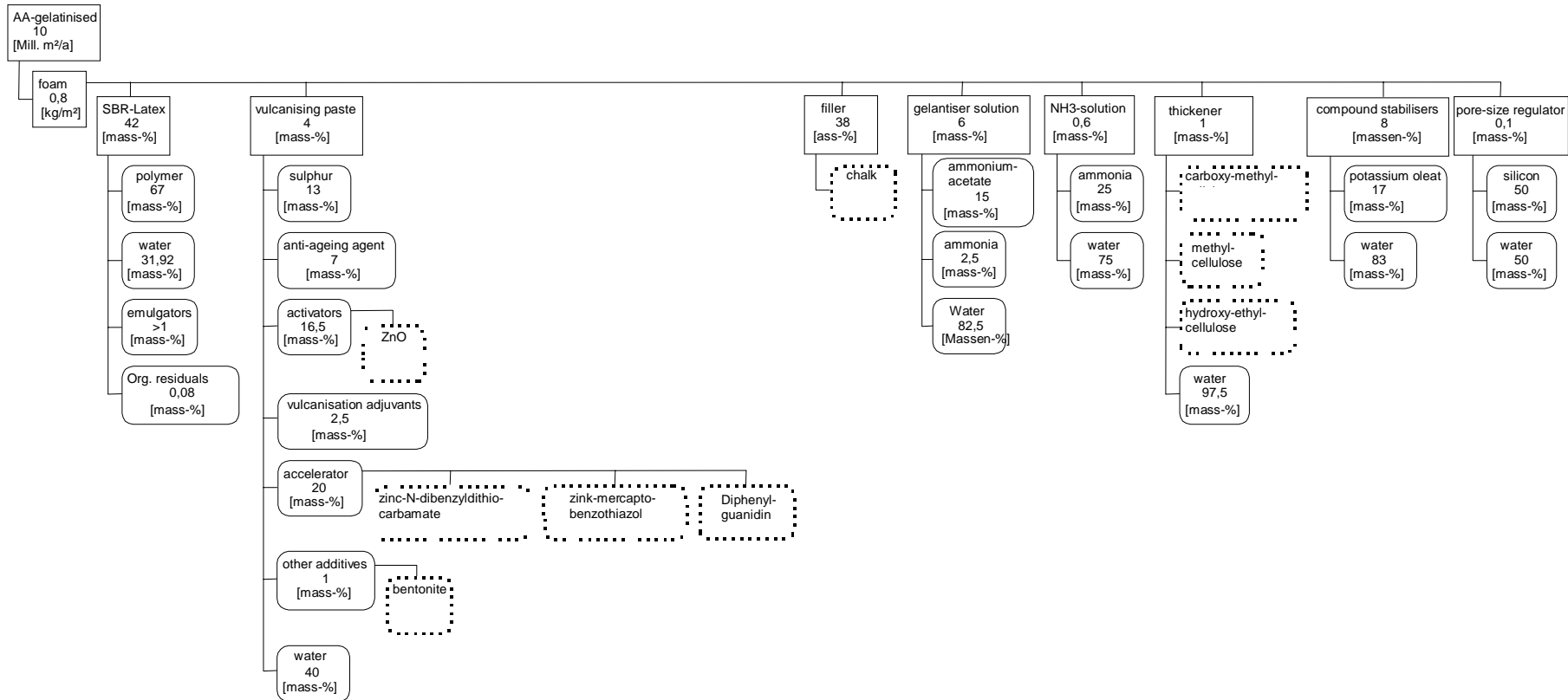


Abbildung 3.3-9: Datenstruktur der Massenflüsse für Ammon-Acetat gelierte Schäume

Tabelle 3.3-3: Zusammenfassung der Ergebnisse des Teilstoffstromes für Ammonacetat gelierte Schaumbeschichtungen					
	Materialzusammen setzung	Anteil des Materials	produzierte Menge [Mio. m ² /a]	Einsatzgewicht [kg/m ²]	Bruttomaterial- einsatz [kt/a]
Vorstrich					
	x-SBR-Latex	30%	10	0,6	1,8
	<i>Polymer</i>	50%			0,9
	<i>Wasser</i>	49,94%			0,9
	<i>org. Restbestdt.</i>	0,06%			0,001
	Wasser	10%	10	0,6	0,6
	Füllstoffe	59%	10	0,6	3,5
	Zusätze	1%	10	0,6	0,1
Zwischensumme					6,0
Schaum					
	SBR-Latex	42%	10	0,8	3,4
	<i>Polymer</i>	67%			2,3
	<i>Wasser</i>	31,92%			1,1
	<i>Emulgatoren</i>	1%			0,03
	<i>org. Restbestdt.</i>	0,08%			0,003
	V-Paste	4%	10	0,8	0,3
	<i>Schwefel</i>	13%			0,04
	<i>Alterungsschm.</i>	7%			0,02
	<i>Aktivatoren</i>	16,5%			0,05
	<i>V-Hilfsmittel</i>	2,5%			0,01
	<i>Beschleuniger</i>	20%			0,06
	<i>Wasser</i>	40%			0,13
	<i>sonstige Zusätze</i>	1%			0,003
	Füllstoffe	38%	10	0,8	3,0
	Gellierm.-Lösg.	6%	10	0,8	0,5
	<i>Ammoniumacetat</i>	15%			0,07
	<i>Ammoniak</i>	2,5%			0,01
	<i>Wasser</i>	82,5%			0,40
	NH3-Lösung	0,6%	10	0,8	0,05
	<i>Ammoniak</i>	25%			0,01
	<i>Wasser</i>	75%			0,04
	Porenregulans	0,1%	10	0,8	0,01
	<i>Silikon</i>	50%			0,004
	<i>Wasser</i>	50%			0,004
	Compoundstab.	8%	10	0,8	0,6
	<i>Kaliumoleat</i>	17%			0,1
	<i>Wasser</i>	83%			0,5
	Verdickungsm.	1%	10	0,8	0,1
	<i>Methylcellulosen</i>	2,5%			0,002
	<i>Wasser</i>	97,5%			0,1
Zwischensumme					8,0
Rohstoffeinsatz			10	1,4	14,0
davon Wasser			10	0,4	3,7
Schaumrücken (AA-gelirt) trocken			10	1,0	10,3

Textilrückenkaschierung

Textile Rückenbeschichtungen werden in einem Zweistufenverfahren auf die Rohware aufkaschiert. Dabei wird der Teppich im ersten Produktionsschritt vorgestrichen und im Vortrockner leicht angetrocknet. In einem separaten Schritt wird dann der Kaschierlatex entweder aufgerakelt oder als Schaum aufgetragen. An den Kaschierstrich sind ähnliche Anforderungen wie an den Vorstrich zu stellen. Dementsprechend unterscheidet sich die Rezeptur des Kaschiercompounds von der des Vorstrichcompounds, von Details abgesehen, lediglich in einem niedrigeren Füllgrad. Für den Kaschierstrich mit einem Auftragsgewicht von $0,65 \text{ kg/m}^2$ wird in diesem Bericht deshalb die gleiche Standardrezeptur wie beim Vorstrich verwendet, jedoch wird hier kein Wasser mehr zugesetzt.

Unter den textilen Materialien, die aufkaschiert werden, sind neben der Jute mit einem Anteil von $152,4 \text{ Mio. m}^2/\text{a}$ vor allem Gewebe aus PP ($163,6 \text{ Mio. m}^2/\text{a}$) und PES ($6,9 \text{ Mio. m}^2/\text{a}$) zu nennen. Eine Teilfraktion von $16,6 \text{ Mio. m}^2/\text{a}$ ist nicht weiter spezifiziert. Eingesetzt werden jeweils etwa $0,1 \text{ kg/m}^2$ der textilen Materialien (Abbildung 3.3-10). Über die in Abbildung 3.3-11 dargestellten schematischen Materialströme lassen sich die Bruttomaterialeinsätze für die textile Rückenbeschichtung berechnen. Diese Berechnungen ergeben die in Tabelle 3.3-4 aufgeführten Materialmengen.

In den Abbildungen zu diesem Kapitel wird nur von Geweben zur Rückenkaschierung gesprochen. Der Begriff Gewebe umfasst hier aber alle Arten von textilen Materialien, die zur Rückenbeschichtung eingesetzt werden. Dies dient lediglich zur Vereinfachung der Struktur, da unter Berücksichtigung aller denkbarer textiler Konstruktionen für solche Rückenbeschichtungen das zugehörige Flussdiagramm unnötig mit Informationen, die zur Berechnung der Stoffströme nicht benötigt werden, überfrachtet würde. Das betrachtete „Gewebe“ besteht demnach nur aus dem Polymermaterial (incl. aller Additive) sowie den aufgetragenen Avivagen und Präparationen.

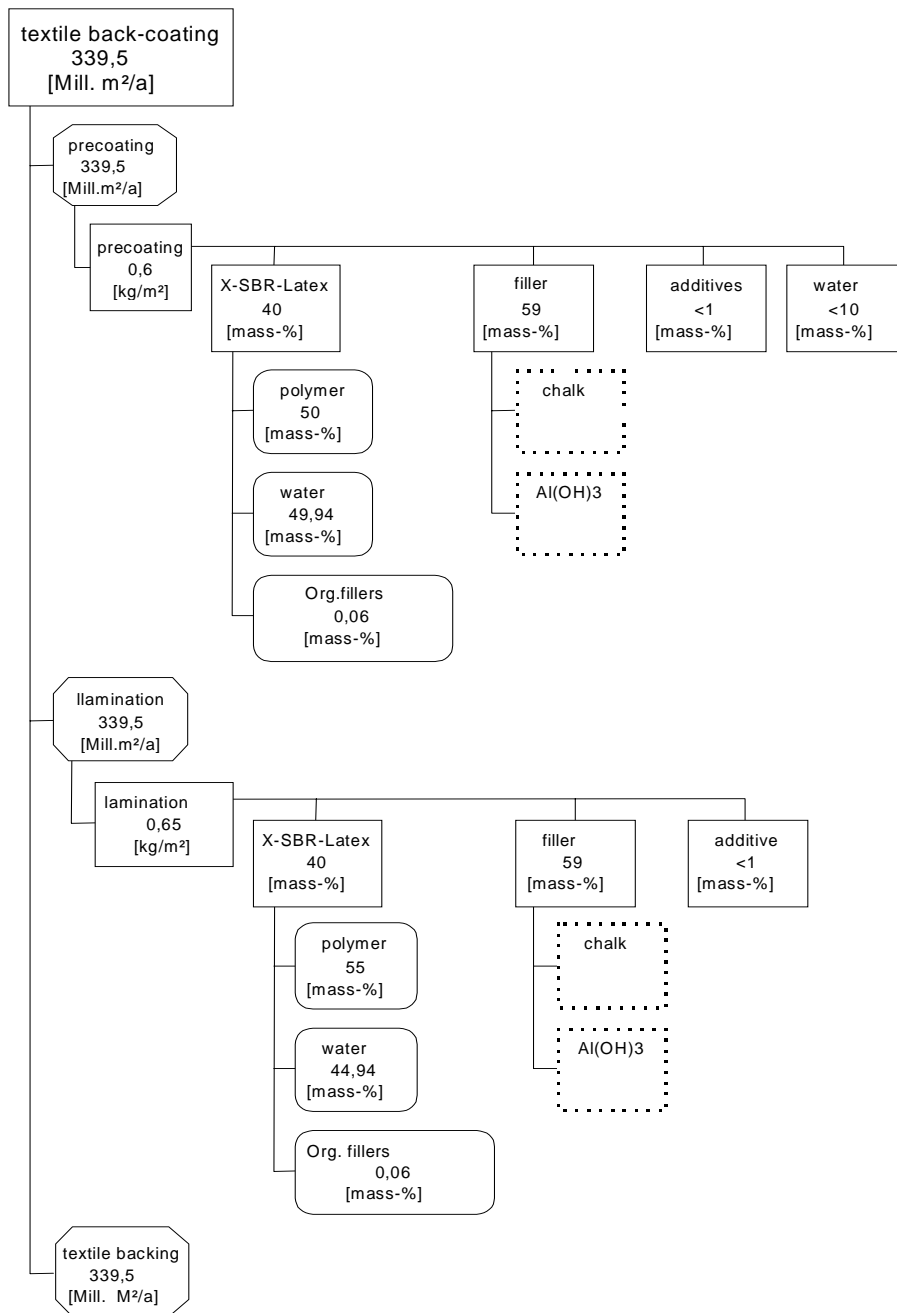


Abbildung 3.3-10: Datenstruktur der Massenflüsse für den Kaschierstrich für Textilrückenkonstruktionen

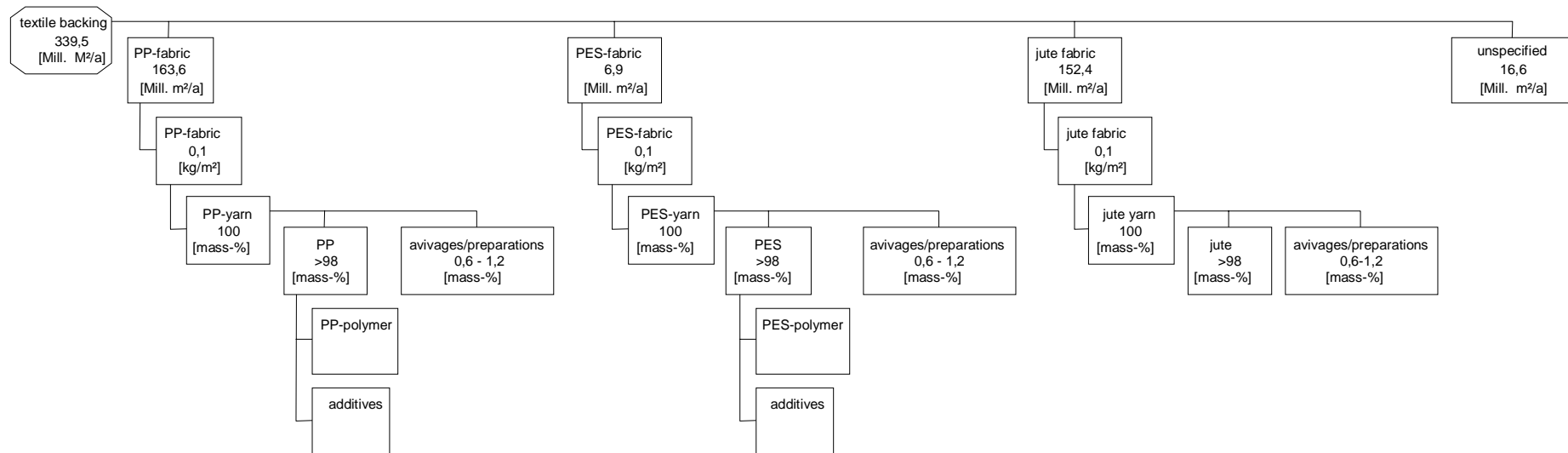


Abbildung 3.3-11: Datenstruktur der Massenflüsse für die Varianten der textilen Rückenbeschichtung

Tabelle 3.3-4: Zusammenfassung der Ergebnisse des Teilstoffstromes für die Textilrückenbeschichtung

	Materialzusammensetzung	Anteil des Materials	produzierte Menge [Mio. m ² /a]	Einsatzgewicht [kg/m ²]	Bruttomaterialeinsatz [kt/a]
Vorstrich					
	x-SBR-Latex	30%	339,5	0,6	61,1
	<i>Polymer</i>	50%			40,7
	<i>Wasser</i>	49,94%			40,7
	<i>org. Restbestdt.</i>	0,06%			0,05
	Wasser	10%	339,5	0,6	20,4
	Füllstoffe	59%	339,5	0,6	120,2
	Zusätze	1%	339,5	0,6	2,0
Zwischensumme					203,7
Kaschierstrich					
	x-SBR-Latex	40%	339,5	0,65	88,3
	<i>Polymer</i>	55%			48,5
	<i>Wasser</i>	44,94%			39,7
	<i>org. Restbestdt.</i>	0,06%			0,05
	Füllstoffe	59%	339,5	0,65	130,2
	Zusätze	1%	339,5	0,65	2,2
Zwischensumme					220,7
Textilrücken					
	PP-Gewebe	100%	163,6	0,1	16,36
	<i>PP</i>	98,8%			16,16
	<i>Avivagen</i>	1,2%			0,20
	PES-Gewebe	100%	6,9	0,1	0,69
	<i>PES</i>	98,8%			0,68
	<i>Avivagen</i>	1,2%			0,01
	Jute-Gewebe	100%	152,4	0,1	15,24
	<i>Jute</i>	98,8%			15,06
	<i>Avivagen</i>	1,2%			0,18
	keine Spezifik.		16,6		
Zwischensumme					32,3
Rohstoffeinsatz			339,5	1,3	456,7
davon Wasser			339,5	0,3	100,8
Textiler Rücken (trocken)			339,5	1,0	355,9

Die Schwerbeschichtung

Neben den bisher behandelten Varianten der Rückenbeschichtungen werden etwa 2,8% der Tuftingerzeugnisse mit einer Schwerbeschichtung versehen. Die Aufteilung der einzelnen Verfahren erfolgt entsprechend Abbildung 3.3-12.

Danach werden also etwa 56% aller in diesem Bereich hergestellten Artikel mit einer Beschichtung auf Bitumenbasis ausgerüstet. Auch hier wurden zur Berechnung der Stoffflüsse die Rezepturen einzelner Hersteller sowie die Angaben sachkundiger Einzelpersonen dazu benutzt, Standardrezepturen auszuarbeiten, um die Materialströme zu berechnen. Die anschließenden Abbildungen (Abbildung 3.3-13 und Abbildung 3.3-14) und Tabellen (Tabelle 3.3-5 und Tabelle 3.3-6) ergeben die Bilanz für diese Beschichtungsvarianten.

Für die Beschichtung mit aPP (ataktischen Polypropylen) oder anderen polyolefinischen Materialien (APO) liegen keine verlässlichen Informationen vor, so dass bislang eine detaillierte Betrachtung nicht vorgenommen werden konnte. Diese Variante der Schwerbeschichtung wurde mit 3 kg/m² angenommen, woraus sich bei 2,8 Mio. m²/a eine Menge von 8,4 kt/a ergibt.

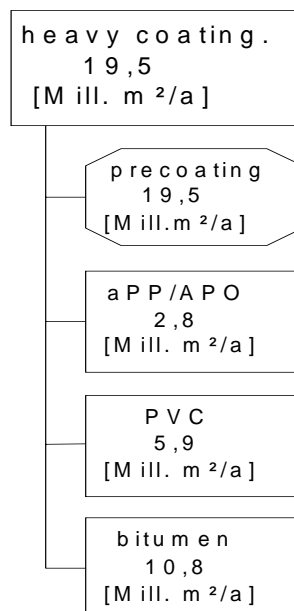


Abbildung 3.3-12: Datenstruktur der Massenflüsse für den Bereich der Schwerbeschichtung

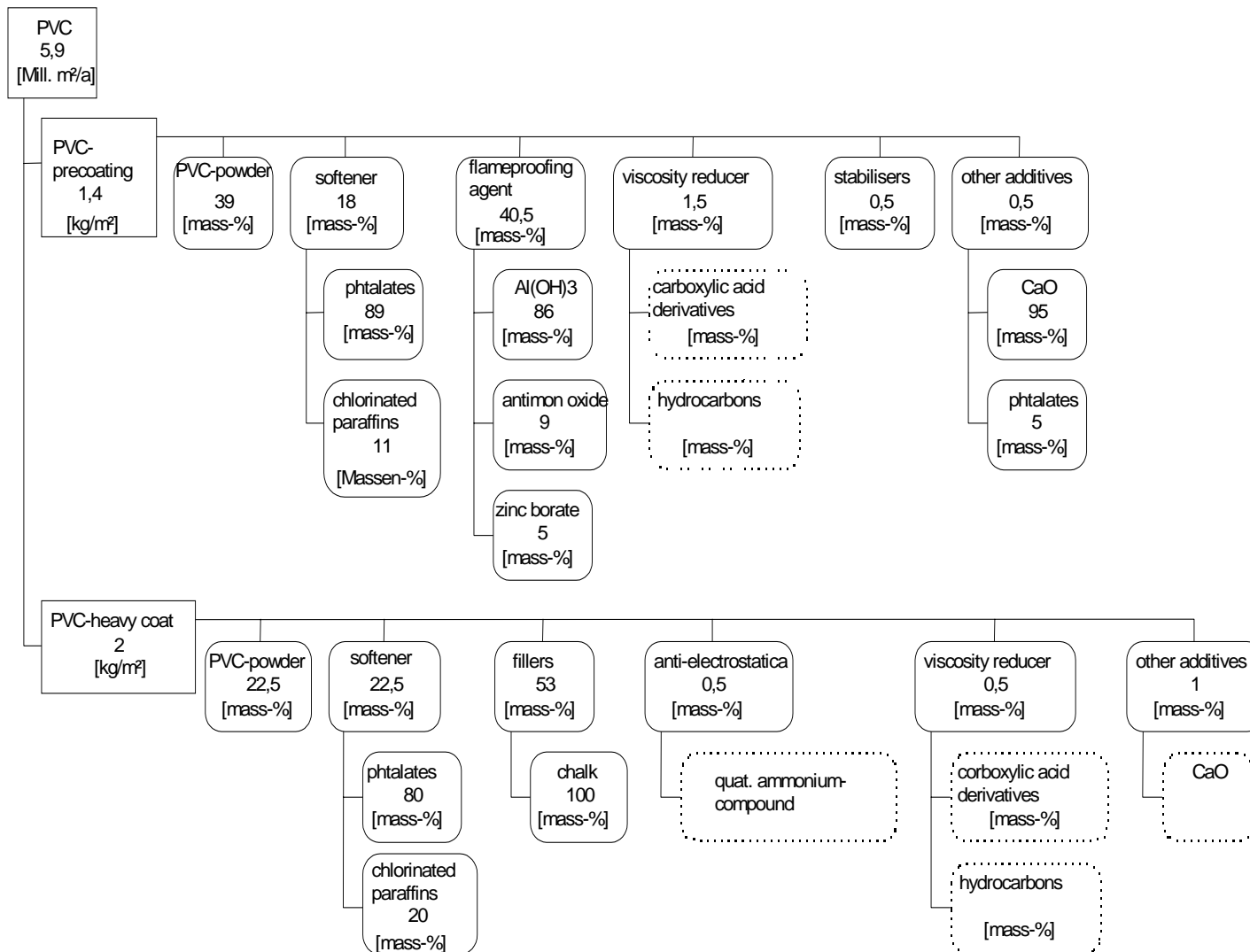


Abbildung 3.3-13: Datenstruktur der Massenflüsse für die PVC-Beschichtung mit zusätzlichem PVC-Vorstrich

Tabelle 3.3-5: Zusammenfassung der Ergebnisse der Teilstoffströme für die PVC-Schwerbeschichtung					
	Materialzusammensetzung	Anteil des Materials	Produzierte Menge [Mio. m ² /a]	Einsatzgewicht [kg/m ²]	Bruttomaterialeinsatz [kt/a]
Vorstrich					
	x-SBR-Latex	30%	5,9	0,6	1,0
	<i>Polymer</i>	50%			0,7
	<i>Wasser</i>	49,94%			0,7
	<i>org. Restbestdt.</i>	0,06%			0,001
	<i>Wasser</i>	10%	5,9	0,6	0,4
	Füllstoffe	59%	5,9	0,6	2,1
	Zusätze	1%	5,9	0,6	0,04
Zwischensumme					3,5
PVC-Vorstrich					
	PVC-Pulver	39%	5,9	1,4	3,2
	Weichmacher	18%	5,9	1,4	1,5
	<i>Phtalate</i>	89%			1,3
	<i>Chlorparaffine</i>	11%			0,2
	Flammschutzm.	40,5%	5,9	1,4	3,3
	<i>Al(OH)₃</i>	86%			2,88
	<i>Antimonoxid</i>	9%			0,30
	<i>Zinkborat</i>	5%			0,17
	Viskositätsred.	1,5%	5,9	1,4	0,12
	<i>Carbonsäureder.</i>				
	<i>Kohlenwasserst.</i>				
	Stabilisatoren	0,5%	5,9	1,4	0,04
	sonst. Zusätze	0,5%	5,9	1,4	0,04
	<i>CaO</i>	95%			0,039
	<i>Phtalate</i>	5%			0,002
Zwischensumme					8,2
PVC-Schwerschicht					
	PVC-Pulver	22,5%	5,9	2	2,7
	Weichmacher	22,5%	5,9	2	2,7
	<i>Phtalate</i>	80%			2,12
	<i>Chlorparaffine</i>	20%			0,53
	Füllstoffe	53%	5,9	2	6,3
	Antielektrostat.	0,5%	5,9	2	0,06
	Viskositätsred.	0,5%	5,9	2	0,06
	sonst. Zusätze	1%	5,9	2	0,12
Zwischensumme					11,9
Rohstoffeinsatz			5,9	4,0	23,7
davon Wasser			5,9	0,2	1,1
PVC-Schwerschicht trocken			5,9	3,8	22,6

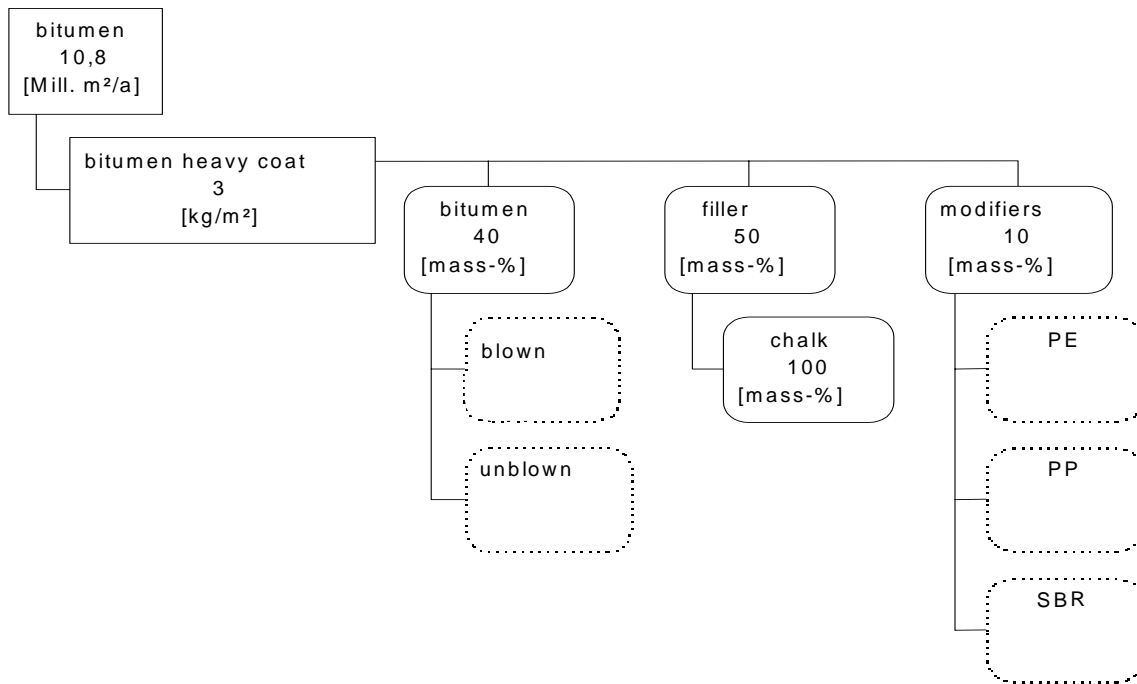


Abbildung 3.3-14: Datenstruktur der Massenflüsse für die Bitumenbeschichtung

Tabelle 3.3-6: Zusammenfassung der Ergebnisse des Teilstoffstromes für die Bitumen-Schwerbeschichtung					
	Materialzusammensetzung	Anteil des Materials	produzierte Menge [Mio. m²/a]	Einsatzgewicht [kg/m²]	Bruttomaterialeinsatz [kt/a]
Vorstrich					
	x-SBR-Latex	30%	10,8	0,6	2,0
	<i>Polymer</i>	<i>50%</i>			<i>1,0</i>
	<i>Wasser</i>	<i>49,94%</i>			<i>1,0</i>
	<i>org. Restbestdt.</i>	<i>0,06%</i>			<i>0,001</i>
	Wasser	10%	10,8	0,6	0,6
	Füllstoffe	59%	10,8	0,6	3,8
	Zusätze	1%	10,8	0,6	0,06
	Zwischensumme				6,5
Bitumen-Schwerschicht					
	Bitumen	40%	10,8	3	13,0
	Füllstoffe	50%	10,8	3	16,2
	Modifikatoren	10%	10,8	3	3,2
	Zwischensumme				32,4
	Rohstoffeinsatz		10,8	3,6	38,9
	davon Wasser				1,6
	Bitumen-Schwerschicht trocken		10,8	3,5	37,3

Nicht näher spezifizierbare Beschichtungen

Neben diesen Beschichtungsvarianten kann eine Reihe von Beschichtungen nicht genauer angegeben werden. Da es sich aber bei allen um getuftete Rohwaren handelt, ist davon auszugehen, dass sämtliche Artikel vorgestrichen werden. Für diese Gruppe wird nur der benötigte Vorstrich erfasst.

	Materialzusammensetzung	Anteil des Materials [%]	produzierte Menge [Mio. m ² /a]	Einsatzgewicht [kg/m ²]	Bruttomaterialeinsatz [kt/a]
Vorstrich	x-SBR-Latex	30%	35	0,6	6,3
	Wasser	10	35	0,6	2,1
	Füllstoffe	59%	35	0,6	12,4
	Zusätze	1%	35	0,6	0,2
Rohstoffeinsatz			35	0,6	21,0
davon Wasser			35	0,1	5,2
nicht spezifizierte Rücken (trocken)			35	0,5	15,8

Zusammenfassende tabellarische Übersicht

Die in den vorangegangenen Kapiteln berechneten Mengen einzelner Substanzen oder Substanzgemische lassen sich alphabetisch geordnet zusammenfassen (Tabelle 3.3-8 bis Tabelle 3.3-12). Dabei wird zunächst eine Auflistung entsprechend der in Abbildung 3.3-6 dargestellten Strukturierung vorgenommen, die es erlaubt, einen Vergleich zwischen den unterschiedlichen Beschichtungssystemen vorzunehmen.

Tabelle 3.3-8: Alphabetischer Überblick für die Materialmengen im Bereich der Schaumbeschichtung	Bruttomaterial- einsatz
Bestandteile	[kt/a]
Aktivatoren	1,2
Al(OH) ₃	s. Füllstoffe
Alterungsschutzmittel	0,6
Ammoniak	0,02
Ammoniumacetat	0,07
Bentonit	0,05
Beschleuniger für Vulkanisationspaste	1,7
Methylcellulosen	0,1
Compoundstabilisatoren für gelierte Schäume, 17%-ige Lösung in Wasser	3,0
Emulgatoren	1,0
Füllstoffe	200,0
Geliermittel-Lösung (Ammonacetat) 17,5%-ig	0,5
Hydrophobiermittellösung für non-gel Schäume, 50%-ige Lösung in Wasser	2,7
Kaliumoleat für gelierte Schäume, gerechnet als Trockensubstanz	0,5
KOH	0,0024
Kreide	s. Füllstoffe
Natriumsilikofluorid	0,6
NH ₃ -Lösung, 25%-ig	0,05
NSF-Suspension, 27,1%-ig	2,4
oberflächenaktive Substanzen	2,6
organische Restbestandteile	0,114
Paraffine	1,34
Polymer T.S. (x-SBR)	26,4
Polymer T.S. (SBR)	70,5
Porenregulans, 50%-ig	0,01
SBR-Latex	105,3
Schwefel	1,4
Silikone	0,004
Verdickungsmittel, 2,5%-ig	3,3
Vulkanisationshilfsmittel	0,7
Vulkanisationspasten, 45 bzw. 60%-ig	17,5
Wasser	99,6
x-SBR-Latex	52,8
Zusätze	1,83

Tabelle 3.3-9: Alphabetischer Überblick für die Materialmengen im Bereich der Textilrückenbeschichtung	Bruttomaterial-einsatz
Bestandteile	[kt/a]
Al(OH) ₃	s. Füllstoffe
Avivagen, Präparationen	0,39
Füllstoffe	250,4
Jute	15,06
Jute-Gewebe	15,24
Kreide	s. Füllstoffe
organische Restbestandteile	0,1
PES	0,68
PES-Gewebe	0,69
Polymer T.S. (x-SBR-Latex)	89,2
PP	16,16
PP-Gewebe	16,36
Wasser	80,4
x-SBR-Latex	169,8
Zusätze	4,2

Tabelle 3.3-10: Alphabetischer Überblick für die Materialmengen im Bereich der PVC-Schwerbeschichtung	Bruttomaterial-einsatz
Bestandteile	[kt/a]
Al(OH) ₃	s. Füllstoffe
Antielektrostatika	0,06
Antimonoxid	0,3
CaO	0,16
Carbonsäurederivate	s. Viskos.red
Chlorparaffine	0,73
Flammschutzmittel	3,3
Füllstoffe	8,4
Kohlenwasserstoffe	s. Viskos.red
Kreide	s. Füllstoffe
organische Restbestandteile	0,001
Phthalate	3,4
Polymer T.S. (x-SBR)	0,7
PVC-Pulver	5,9
quaternäre Ammoniumverbindungen	0,06
sonstige Zusätze	0,16
Stabilisatoren	0,04
Viskositätsreduzierer	0,18
Wasser	0,7
Weichmacher	4,2
x-SBR-Latex	1,4
Zinkborat	0,17
Zusätze	0,04

Tabelle 3.3-11: Alphabetischer Überblick für die Materialmengen im Bereich der Bitumen-Schwerbeschichtung	Bruttomaterial-einsatz
Bestandteile	[kt/a]
Al(OH)3	s. Füllstoffe
Bitumen	13,0
Füllstoffe	20,0
Kreide	s. Füllstoffe
Modifikatoren (PE, PP, SBR)	3,2
org. Restbestdt.	0,002
PE	s. Modifikatoren
Polymer T.S. (x-SBR)	1,3
PP	s. Modifikatoren
SBR	s. Modifikatoren
Wasser	1,3
x-SBR-Latex	2,6
Zusätze	0,06

Tabelle 3.3-12: Alphabetischer Überblick für die Materialmengen im Bereich der nicht spezifizierten Rücken	Bruttomaterial-einsatz
Bestandteile	[kt/a]
Al(OH)3	s. Füllstoffe
Füllstoff	12,4
Kreide	s. Füllstoffe
organische Restbestandteile	0,01
Polymer T.S. (x-SBR)	4,20
Wasser	4,2
x-SBR-Latex	8,4
Zusätze	0,2

Trägermaterialien für Tuftingbeläge

Grundsätzlich lassen sich alle eingesetzten Träger in die Hauptklassen Gewebe und Vliese einteilen (Abbildung 3.3-15 bis Abbildung 3.3-17). 68% der zum Einsatz kommenden Träger sind dabei Gewebe, die hauptsächlich aus PP-Bändchen hergestellt werden. Von diesen werden wiederum 19% mit einer PA-Faserauflage benadelt. Diese PA-Auflage wird bei Färbeprozessen mit eingefärbt und deckt das ansonsten ungefärbte helle PP-Trägermaterial optisch ab. Hierdurch kann mit weniger Polmaterial ein optisch annehmbarer Effekt erzielt werden.

In Einsatzbereichen, in denen eine besondere Maßstabilität benötigt wird, werden Vliese auf Polyesterbasis eingesetzt. Sie machen etwa 58% des gesamten Vliesesektors aus. Die zusammenfassende Auswertung der in Abbildung 3.3-15 bis Abbildung 3.3-17 dargestellten Zusammenhänge ist in der Tabelle 3.3-13 wiedergegeben und zusammenfassend in der nachfolgenden Tabelle aufgelistet.

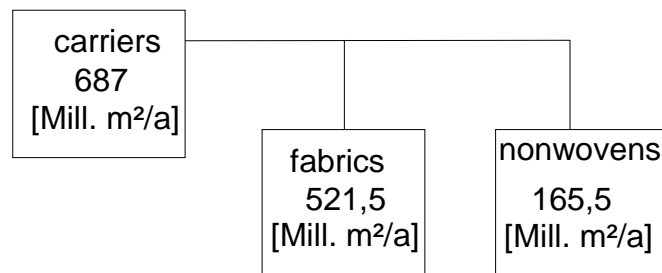


Abbildung 3.3-15: Stoffmengen für Trägermaterialien

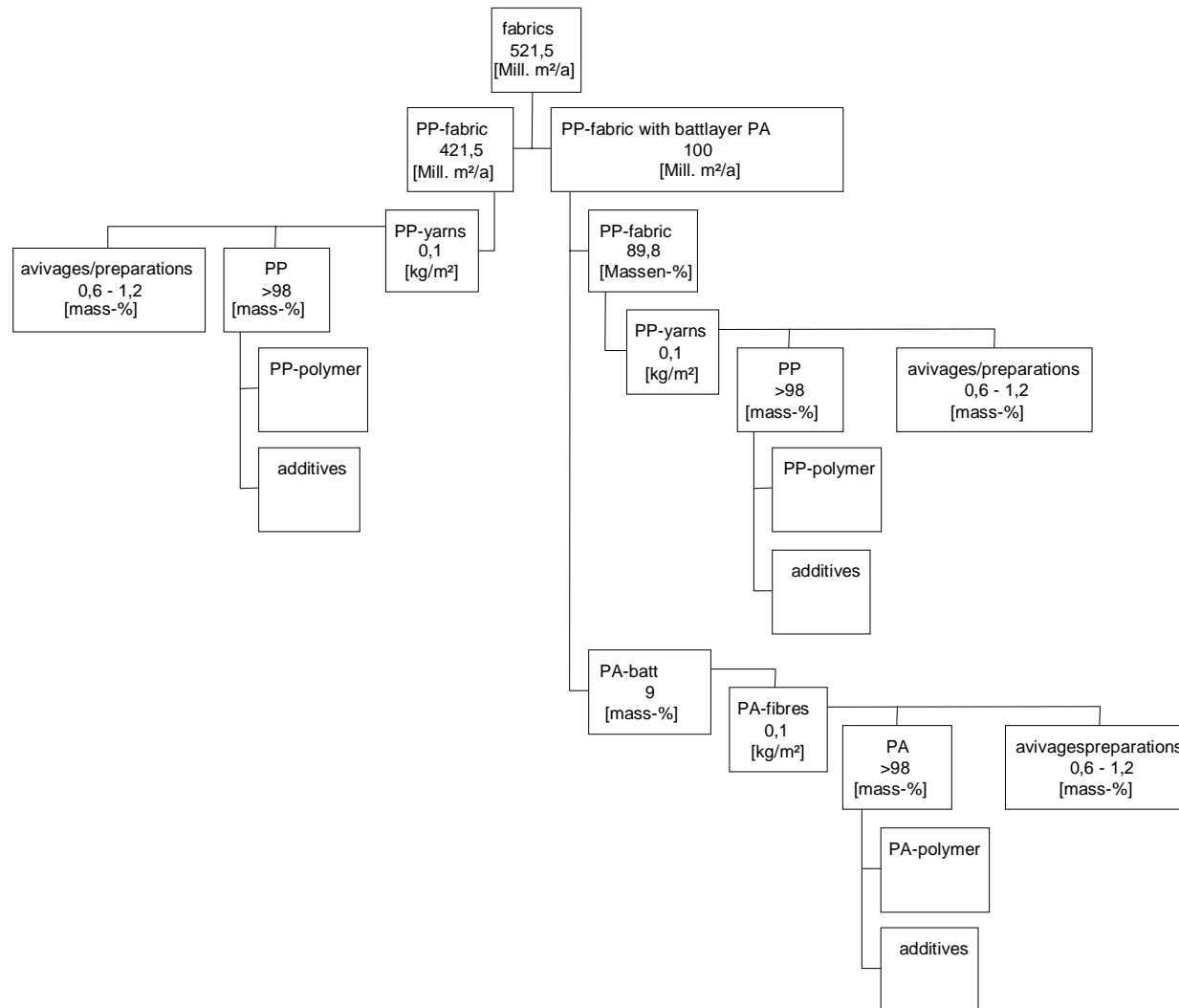


Abbildung 3.3-16: Datenstruktur der Massenflüsse für Tuftingträger auf Gewebebasis

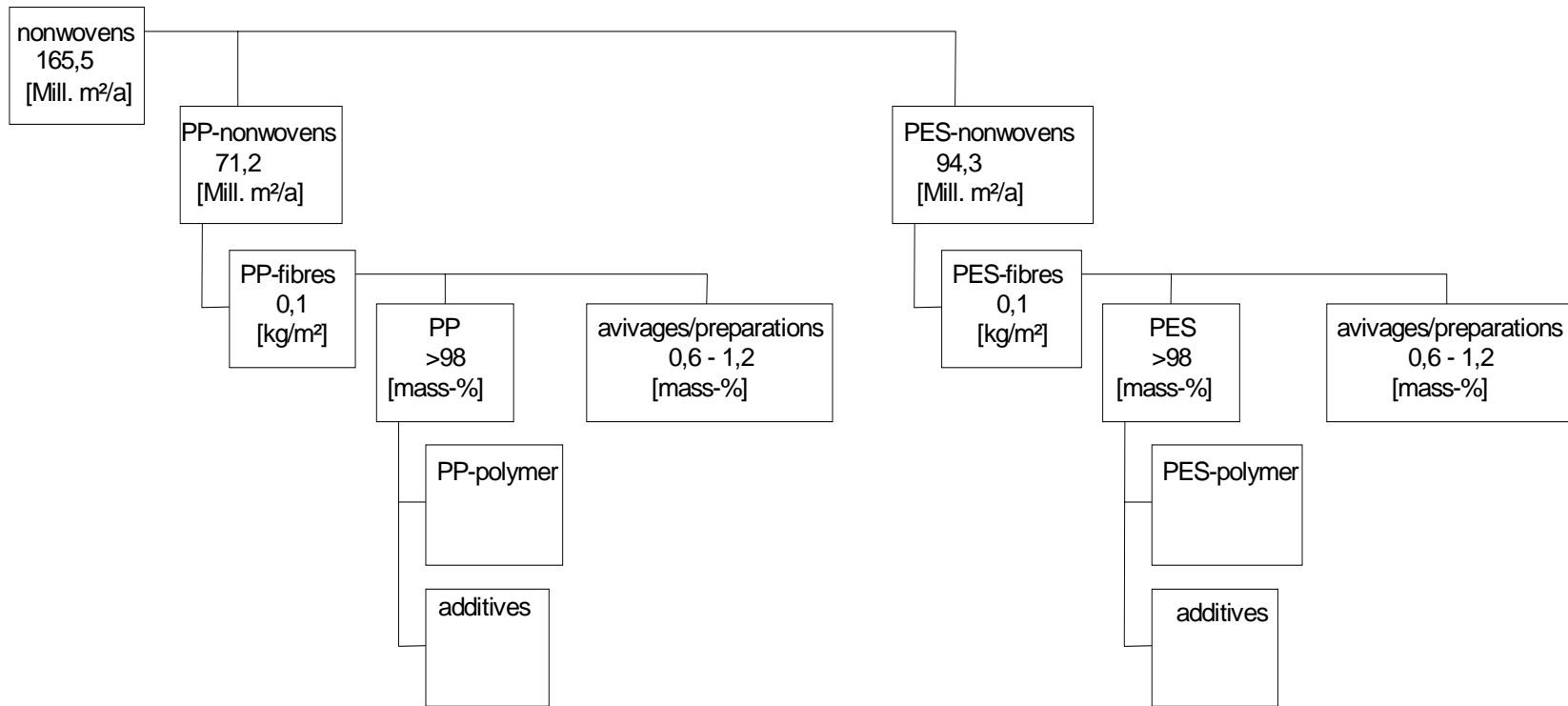


Abbildung 3.3-17: Datenstruktur der Massenflüsse für Träger auf Vliesbasis

Tabelle 3.3-13: Zusammenfassung der Einzelstoffströme für den Bereich der Gewebe- und Vlies-Träger

	Materialzusammen- setzung	Anteil des Materials	produzierte Menge [Mio. m ² /a]	Einsatzgewicht [kg/m ²]	Bruttomaterial- einsatz [kt/a]
Gewebe					
	PP-Gewebe	100%	421,5	0,1	42,2
	<i>PP</i>	98,8%			41,7
	<i>Avivagen Präp.</i>	1,2%			0,5
	mit PA-Faservlies	100%	100	0,11	11,0
	<i>PP</i>	89,8%			9,9
	<i>PA</i>	9,0%			1,0
	<i>Avivagen Präp.</i>	1,2%			0,1
Zwischensumme			521,5		53,2
Vliese					
	PP-Vliese	100%	71,2	0,1	7,1
	<i>PP</i>	98,8%			7,0
	<i>Avivagen Präp.</i>	1,2%			0,1
	PES-Vliese	100%	94,3	0,1	9,4
	<i>PES</i>	98,8%			9,3
	<i>Avivagen Präp.</i>	1,2%			0,1
Zwischensumme			165,5		16,6
Rohstoffeinsatz Träger			687	0,1	69,7

Tabelle 3.3-14: Alphabetischer Überblick für die Materialmengen im Bereich der Tuftingträger	Bruttomaterialeinsatz
Bestandteile	[kt/a]
Avivagen, Präparationen	0,8
PA	1,0
PES-Vliese	9,4
PP	52,2
PP-Gewebe	42,2
PP-Gewebe mit Faservliesauflage PA	11,0
PP-Vliese	7,1

Polmaterialien für Tuftingbeläge

Die Garnmaterialien, die zur Teppichproduktion eingesetzt werden, lassen sich in die Hauptklassen

- Stapelfasergarne
- BCF-Garne

einteilen. In die Gruppe der BCF-Garne (Bulk-Continuous-Filament Yarns) gehören nur solche Garne, die aus Polymeren in Form von endlosen Filamenten ersponnen werden. Bei den Stapelfasergarnen finden sich daneben auch Naturfasern. Das kennzeichnende Merkmal dieser Gruppe ist die endliche Länge der Einzelfasern aus denen die Garne gesponnen werden. Bei den Chemiefasern im BCF-Bereich sind nur die Polyamide bzw. Polypropylen von Bedeutung, Polyester ist hier nicht von Belang. Das Schema zur Berechnung des Teilstoffstromes BCF-Garne ist in Abbildung 3.3-18 dargestellt. Für die Stapelfasergarne ergibt sich das in Abbildung 3.3-19 gezeigte Schema. Die Berechnung des zugehörigen Teilstoffstromes ist in Tabelle 3.3-15 wiedergegeben.

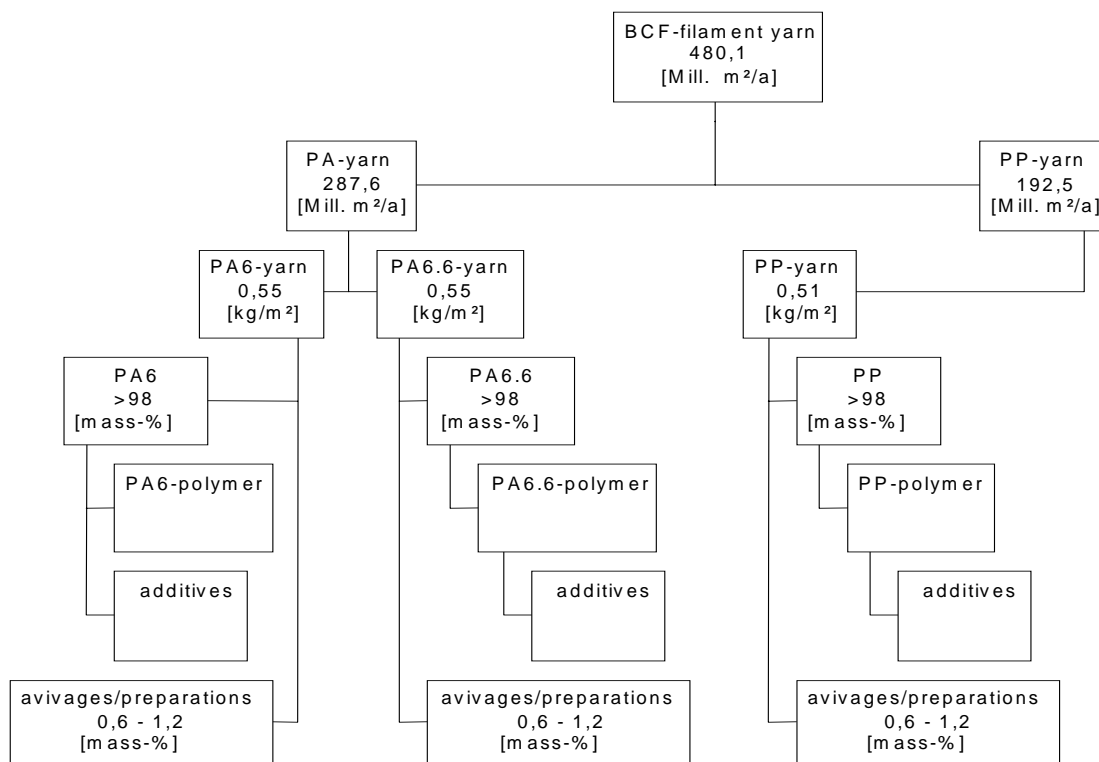


Abbildung 3.3-18: Datenstruktur der Massenflüsse für die Berechnung im Bereich der BCF-Garne

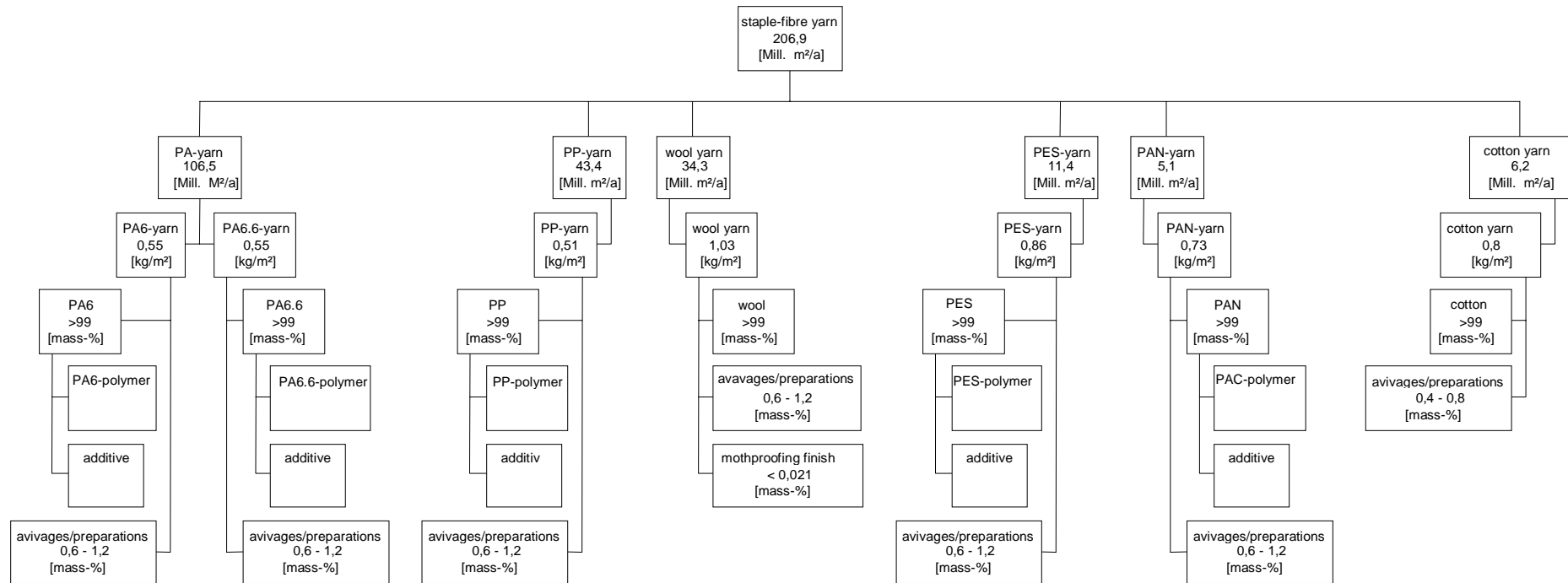


Abbildung 3.3-19: Datenstruktur der Massenflüsse für Stapelfasergarne

Tabelle 3.3-15: Teilstoffströme für Polmaterialien					
	Materialzusammensetzung	Anteil des Materials	produzierte Menge [Mio. m ² /a]	Einsatzgewicht [kg/m ²]	Bruttomaterial-einsatz [kt/a]
BCF-Filamentgarn					
	PA-Garn	100%	287,6	0,55	158,2
	<i>PA</i>	98,8%			156,3
	<i>Avivagen Präp.</i>	1,2%			1,9
	PP-Garn	100%	192,5	0,51	98,2
	<i>PP</i>	98,8%			97,0
	<i>Avivagen Präp.</i>	1,2%			1,2
Zwischensumme					256,4
Stapelfasergarn					
	PA-Garn	100%	106,5	0,55	58,6
	<i>PA</i>	99,2%	106,5	0,6	58,1
	<i>Avivagen Präp.</i>	0,8%	106,5	0,6	0,5
	PP-Garn	100%	43,4	0,51	22,13
	<i>PP</i>	99,2%			21,96
	<i>Avivagen Präp.</i>	0,8%			0,18
	PES-Garn	100%	11,4	0,86	9,8
	<i>PES</i>	99,2%			9,7
	<i>Avivagen Präp.</i>	0,8%			0,1
	PAN-Garn	100%	5,1	0,73	3,72
	<i>PAN</i>	99,2%			3,69
	<i>Avivagen Präp.</i>	0,8%			0,03
	Woll-Garn	100%	34,3	1,03	35,3
	<i>Wolle</i>	99,2%			35,0
	<i>Permethrin</i>	0,021%			0,007
	<i>Avivagen Präp.</i>	0,8%			0,3
	Baumwoll-Garn	100%	6,2	0,8	5,0
	<i>Baumwolle</i>	99,2%			4,9
	<i>Avivagen Präp.</i>	0,8%			0,04
Zwischensumme					134,5
Summe Polmaterial			687,1	0,6	390,9

Der Inhalt der Tabelle ist in Abb. 3.3-20 graphisch dargestellt.

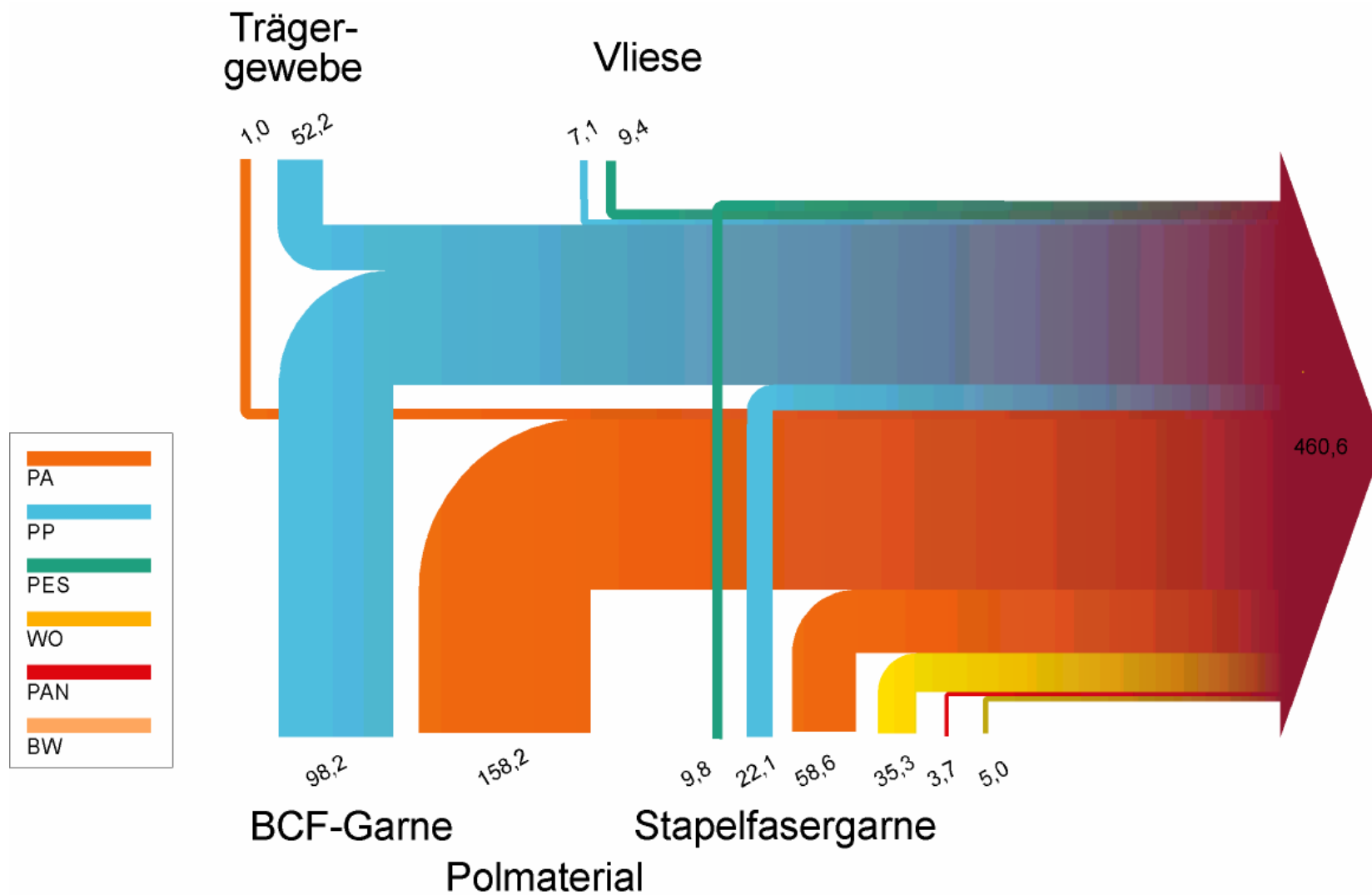


Abbildung 3.3-20: Stoffflussdiagramm der Tuftingrohware in kt/a

Tabelle 3.3-16: Zusammensetzung der Polmaterialien	Bruttomaterialeinsatz
Bestandteile	[kt/a]
Avivagen, Präparationen	4,3
Baumwolle	4,9
Baumwollgarne (incl. Avivagen)	5,0
Polyamid 6 /Polyamid 66	214,4
Polyamidgarne (incl. Avivagen)	216,8
Polyacrylnitril	3,69
Polyacrylnitrilgarne (incl. Avivagen)	3,72
Permethrin	0,007
Polyester	9,7
Polyestergarne (incl. Avivagen)	9,8
Polypropylen	119,0
Polypropylengarne (incl. Avivagen)	120,3
Wolle	35,0
Wollgarne (incl. Avivagen)	35,3

Für die in diesem Bereich der Polmaterialien zum Einsatz kommenden Avivagen und Faserpräparationen ergibt sich eine Gesamteinsatzmenge von 43 kt/a. Dieser Teilstoffstrom gliedert sich entsprechend dem Schema in Abbildung 3.3-21 auf.

Eine weitere Aufgliederung dieser Gruppe von Stoffen und Stoffgemischen ist nicht mehr möglich, da die Zusammensetzung sehr stark variieren kann und das berechnete Ergebnis letztlich mit den tatsächlichen Stoffströmen nicht übereinstimmen wird. Rezepturen von Avivagen und Präparationen im Faserbereich fallen in den Bereich der Geheimhaltung, so dass keine exakten Daten von den Herstellern bekannt gegeben werden. Prinzipiell kann aber für alle Avivagenrezepturen die in Abbildung 3.3-21 dargestellte Zusammensetzung angenommen werden.

Die Frage nach der Einsatzmenge einer bestimmten Chemikalie muss für diesen Bereich abgeschätzt werden, wie dies am Beispiel einiger Antioxidantien (Alterungsschutzmittel) gezeigt wird. Diese werden als Additive dem Polymer bei der Faserherstellung zugesetzt (s. Abbildung 3.3-22), wie etwa das bekannte Handelsprodukt *Irganox* bei Polypropylenen. *Irganox* selbst ist wiederum eine Mischung unterschiedlicher Substanzen siehe Abbildung 3.3-23.

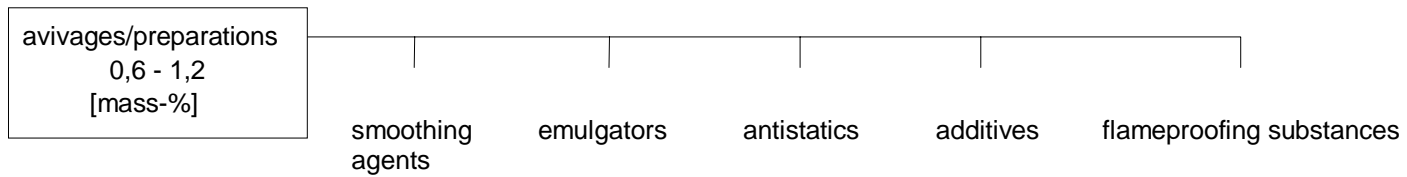


Abbildung 3.3-21: Aufteilung der Avivagen nach Stoffgruppen und Einzelsubstanzen

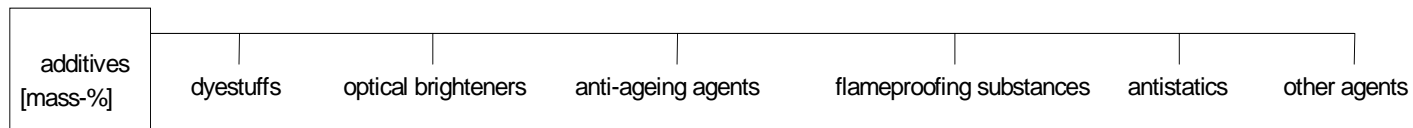
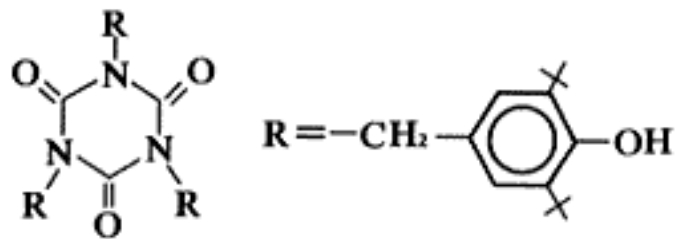
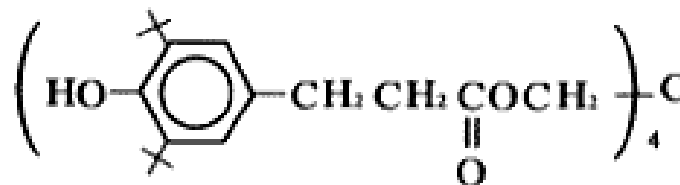


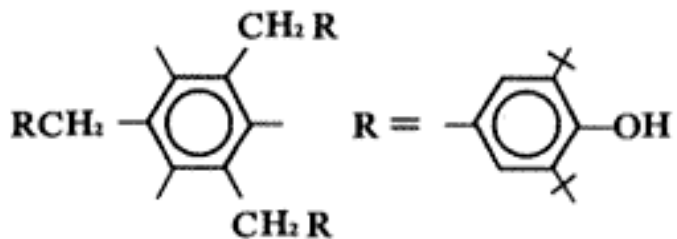
Abbildung 3.3-22: Aufteilung der Additive in Untergruppen



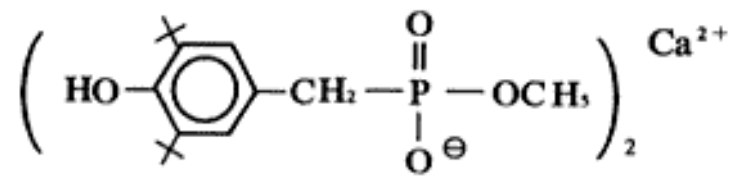
Irganox 3114



Irganox 1010



Irganox 1330



Irganox 1425

Abbildung 3.3-23: Strukturformeln einiger Antioxidantien, die unter dem Sammelbegriff „Irganox“ als Handelsprodukt erhältlich sind

Zur Berechnung der Menge der Alterungsschutzmittel wird zunächst die Menge des mit dem jeweiligen Mittel ausgerüsteten Polymers benötigt. Des Weiteren werden dann zwei Prozentangaben über den durchschnittlichen Additiveinsatz pro kg Polymer und den Anteil der Alterungsschutzmittel bzw. Antioxidantien in diesen Additiven benötigt. Damit ist es dann möglich, eine obere Mengengrenze für die Antioxidantien zu bestimmen. Ist darüber hinaus der Marktanteil des in Frage kommenden Produktes (etwa Irganox) bekannt, kann die Einsatzmenge abgeschätzt werden. Da aber Irganox nur ein Sammelbegriff für eine Vielzahl unterschiedlicher Einzelsubstanzen ist muss auch jetzt wieder der prozentuale Anteil der einzelnen Substanzen bekannt sein. Sollte es aus den verschiedensten Gründen notwendig sein, die Einsatzmenge einer ganz bestimmten Chemikalie zu ermitteln, so kann über diese Methode durch Abfrage von zusätzlichen Experteninformationen eine relativ gute Abschätzung der maximal eingesetzten Menge dieser Chemikalie (für den Bereich der textilen Bodenbeläge) erfolgen. Es versteht sich aber aufgrund der starken Verästelung der Stoffströme, dass dies im Rahmen dieser Arbeit nicht für alle Einzelsubstanzen erfolgen kann.

Zusammenfassende Bilanzierung für den Bereich der Tuftingproduktion

Für die Darstellung der Hauptstoffströme im Bereich der Tuftingproduktion können die bisher berechneten Daten gemäß dem verwendeten Schema zusammengefasst werden (s. Abb. 3.3-24). Demnach werden pro Jahr 1211,7 kt Tuftingteppichböden in Europa hergestellt. Diese Teppiche haben ein mittleres Gewicht von 1,79 kg/m² und enthalten durchschnittlich 0,57 kg Fasermaterial und sind mit 1,13 kg Beschichtungsmaterial versehen. Der Rest entfällt auf Träger- und sonstige Materialien.

Die abschließend aufgeführte Tabelle 3.3-18 enthält nochmals eine Übersicht der wichtigsten Stoffgemische und Einzelstoffe die in die Betrachtung der Produktklasse „Tuftingteppiche“ aufgenommen wurden.

Tabelle 3.3-17: Strukturierter Überblick der im Bereich Tufting anfallenden Hauptstoffströme						
Produktklasse	Unterklasse		produzierte Menge [Mio.m ² /a]	Einsatzgewicht [kg/m ²]	Bruttomaterial-einsatz [kt/a]	
	Komponente	Stoffgemisch				
Tufting-Teppiche			687	1,79	1211,7	
	Polmaterial		687	0,57	390,9	
		BCF-Garn	480,1	0,53	256,4	
		PA-Garn	287,6	0,55	158,2	
		PP-Garn	192,5	0,51	98,2	
		Stapelfasergarn	206,9	0,65	134,5	
		PA-Garn	106,5	0,55	58,6	
		PP-Garn	43,4	0,51	22,13	
		PES-Garn	11,4	0,86	9,8	
		PAN-Garn	5,1	0,73	3,72	
		Woll-Garn	34,3	1,03	35,3	
		Baumwoll-Garn	6,2	0,8	5,0	
	Träger		687	0,1	69,7	
		Gewebe	521,5	0,1	53,2	
		PP-Gewebe	421,5	0,1	42,2	
		PP m. PA-Auflage	100	0,11	11,0	
		Vliese	165,5	0,1	16,5	
		PP-Vlies	71,2	0,1	7,1	
		PES-Vlies	94,3	0,1	9,4	
	Beschichtung (komplett)		687	1,13	751,1	
		Schaum	293	1,06	311,1	
		Non-Gel	223	1,07	239,7	
		NSF	60	1,02	61,1	
		AA	10	1,03	10,3	
		Textilrücken	339,5	1,0	355,9	
		PP-Rücken	163,6	1,0	171,5	
		PES-Rücken	6,9	1,0	7,2	
		Jute-Rücken	152,4	1,0	159,8	
		ohne Spezifikation	16,6	1,0	17,4	
		Schwerschicht	19,5	3,54	68,3	
		„Bitumen“	10,8	3,4	37,3	
		„PVC“	5,9	3,8	22,6	
		„aPP/APO“	2,8	3,0	8,4	
		Nicht spezifiziert	35	0,5	15,8	
		nur Vorstrich	35	0,5	15,8	

Der Inhalt der Tabelle ist in Abb. 3.3-24 graphisch dargestellt.

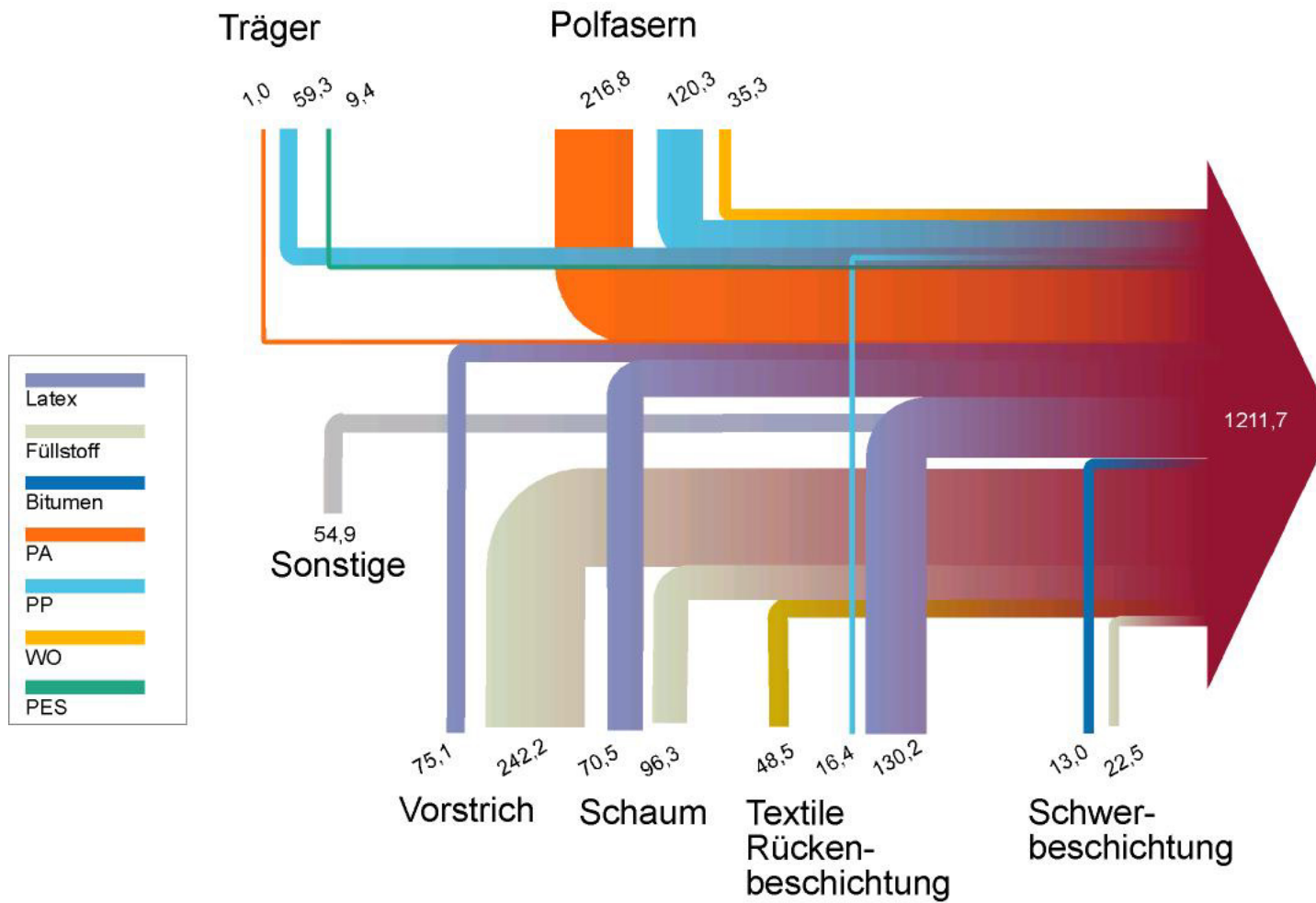


Abbildung 3.3-24: Stoffflussdiagramm der Tuftingteppiche in kt/a

Tabelle 3.3-18: Alphabetischer Überblick für die Stoffströme im Bereich der Tuftingartikel	Bruttomaterialeinsatz
Stoff-/Stoffgemisch	[kt/a]
Aktivatoren für die Vulkanisation von Latex-Schäumen	1,23
Alterungsschutzmittel für Latex-Schäume	0,62
Ammoniak als Gelierhilfsmittel	0,02
Ammoniumacetat als Geliermittel	0,07
aPP/APO, gerechnet als fertige Schwerbeschichtung	8,4
Avivagen/Präparationen für Polgarne, Gewebe und Vliese	5,49
Baumwolle	4,9
Baumwoll-Garne als Polmaterial	5,0
Bentonit in NSF-Suspensionen	0,05
Beschleuniger für Vulkanisationspasten	1,7
Bitumen für die Schwerbeschichtung	13,0
CaO als Zusatz der PVC-Schwerschicht	0,16
Carbonsäurederivate als Viskositätsreduzierer	s. Viskositätsred.
Carboxymethylcellulosen, Hydroxyethylcellulose als Verdickungsmittel	0,11
Chlorparaffine als Weichmacher für die PVC-Schwerbeschichtung	0,73
Compoundstabilisatoren für gelierte Schäume, 17%-ige Lösung in Wasser	3,0
Emulgatoren für den SBR-Latex	1,0
Füllstoffe für die Rückenbeschichtungen (SBR, xSBR-Latex, Bitumen, PVC)	491,2
Geliermittel-Lösungen für ammoniumacetatgelierte Schäume, 17,5%-ige Lösung	0,5
Hydrophobiermittellösungen für Non-Gel Schäume, 50%-ige Lösung	2,7
Jute	15,06
Jute-Gewebe für die textile Rückenbeschichtung	15,24
Kaliumoleat als Compoundstabilisator für gelierte Schäume	0,5
KOH in der NFS-Suspension	0,0024
Kohlenwasserstoffe als Viskositätsreduzierer für PVC-Rücken	s. Viskositätsred.
Kreide als Füllstoff	s. Füllstoff
Modifikatoren für die Bitumenbeschichtung	3,2
Natriumsilicofluorid als Geliermittel	0,6
NH3 als Hilfsmittel für NSF-gelierte Schäume	s. Ammoniak
NH3-Lösung für NSF-gelierte Schäume, 25%-ige Lösung	0,05
NSF	s. Natriumsilicofluorid
NSF-Suspension als Geliermittel, 27,1%-ige Lösung	2,4
oberflächenaktive Substanzen für Non-Gel Schäume	2,6
organische Restbestandteile aus der Latexproduktion	0,223
PA	215,4
PAC	3,69
PAC-Garn als Polmaterial	3,72
PA-Garn als Polmaterial	216,8
Paraffine als Hydrophobierungsmittel für Non-Gel Schäume	1,34
PE als Modifikator für die Bitumen-Schwerbeschichtung	s. Modifikatoren
Permethrin als Mottenschutzmittel	0,007
PES	19,68
PES-Garne als Polmaterial	9,8
PES-Gewebe für die textile Rückenbeschichtung	0,69
PES-Vliese als Träger	9,4
Phtalate als Weichmacher für die PVC-Schwerbeschichtungen	3,4
Porenregulans für ammoniumacetat-gelierte Schäume, als 50% -ige Lösung	0,01
PP	193,8
PP als Modifikator für Bitumen	s. Modifikatoren
PP-Garne als Polmaterial	120,3
PP-Gewebe mit Faservliesauflage PA als Träger	11,0
PP-Gewebe (Träger und textiler Rücken)	58,6
PP-Vliese (Träger)	7,1
PVC-Pulver (PVC-Schwerbeschichtung)	5,9
SBR-Latex (Schaumbeschichtung)	105,3
SBR-Polymere (Modifikatoren für die Bitumen)	s. Modifikatoren
SBR-Polymere, gerechnet als Trockensubstanz, für die Schaumbeschichtungen	70,5
Schwefel zum Vulkanisieren von SBR-Latex-Schäumen	1,4
Silikone als Porenregulans für ammoniumacetat-gelierte Schäume	0,004
Stabilisatoren für die PVC-Schwerbeschichtung	0,04
unterschiedliche Zusätze aus Rezepturen	6,5
Verdickungsmittel für Latex-Schäume, 2,5%-ige Lösung in Wasser	3,3
Viskositätsreduzierer für PVC-Schwerbeschichtungen	0,18
Vulkanisations-Hilfsmittel	0,68
Vulkanisationspasten für SBR-Latexschäume, trocken	8,32
Vulkanisationspasten für SBR-Latex-Schäume, 45% bzw. 60%-ige Lösung	17,5
Weichmacher (PVC-Schwerbeschichtung)	4,2
Wolle	35,0
Wollgarne, inklusive Ausrüstung (als Polmaterial)	35,3
xSBR-Latex, naß (Vor- und Kaschierstrich)	235,0
xSBR-Polymere, trocken (Vorstriche u. textile Rückenbeschichtungen)	121,8

3.3.2. NADELVLIESE

Für den Bereich der Nadelvliesproduktion ergibt sich ein wesentlich einfacheres Schema als dies für den Bereich der Tuftingartikel notwendig ist. Erneut dient hierbei das Herstellungsverfahren als Rahmen für die Strukturierung bei der Datenerfassung. Abbildung 3.3-25 gibt einen Überblick der zu betrachtenden Stoffe.

In Westeuropa wurden gemäß Abbildung 3.3-1 im Jahr 1995 244 Mio. m² Nadelvliesbodenbeläge hergestellt. Größter Produzent ist Belgien, gefolgt von Deutschland und Frankreich. Die größten Märkte finden sich dagegen in Deutschland, Großbritannien und Frankreich (siehe Abbildung 3.3-2).

Bei der Stoffflussanalyse wird die Nadelvliesproduktion zunächst in zwei Bereiche, die eigentliche Vliesherstellung und die nachfolgende Beschichtung bzw. chemische Verfestigung mit Latices (entweder im Vollbad oder durch Pflatschtauftrag), eingeteilt. Bei der Vliesherstellung werden sowohl eigens hergestellte und gefärbte Garne als auch, und dies ist der größte Anteil, Garnreste aus anderen textilen Produktionsprozessen, häufig Abschnitte von Schussfäden aus Webprozessen eingesetzt.

Die Auswertung der in Abbildung 3.3-25 dargestellten Struktur ergibt die in der folgenden Tabelle wiedergegebenen, zum Einsatz kommenden Materialmengen.

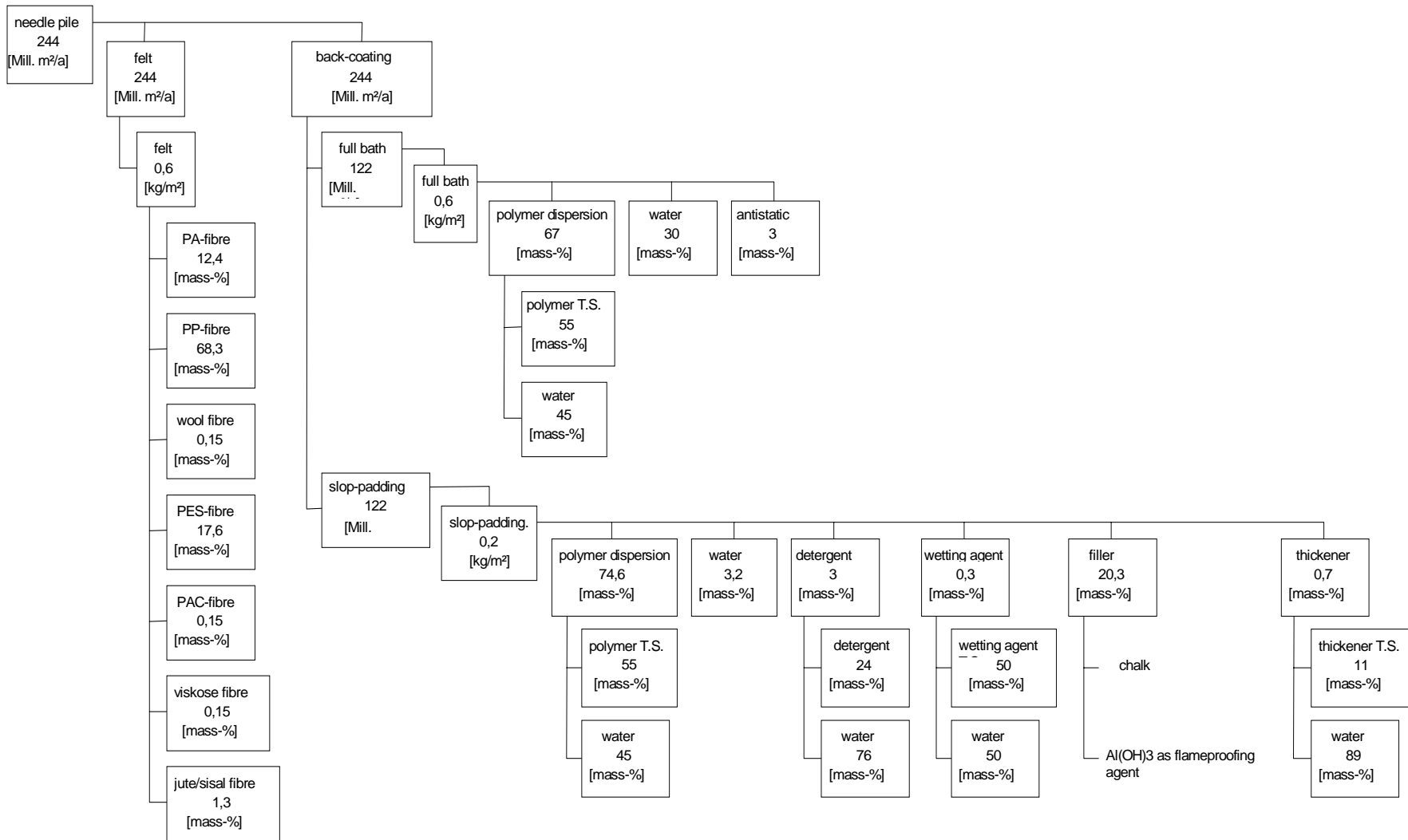


Abbildung 3.3-25: Datenstruktur der Massenflüsse für die Nadelvliesproduktion

Tabelle 3.3-19: Materialströme im Bereich der Nadelvliesproduktion					
	Materialzusammen- setzung	Anteil des Materials	produzierte Menge [Mio. m ² /a]	Einsatzgewicht [kg/m ²]	Bruttomaterial- einsatz [kt/a]
Filz					
	PA-Faser	12,4%	244	0,6	18,2
	PP-Faser	68,3%	244	0,6	100,2
	Woll-Faser	0,15%	244	0,6	0,2
	PES-Faser	17,6%	244	0,6	25,8
	PAN-Faser	0,15%	244	0,6	0,2
	Viskose-Faser	0,15%	244	0,6	0,2
	Jute/Sisal-Faser	1,3%	244	0,6	1,9
Zwischensumme			244		146,7
Vollbad					
	Polymerdisp.	67%	122	0,6	49,1
	<i>Polymer T.S.</i>	55%			27
	<i>Wasser</i>	45%			21,1
	Wasser	30,0%	122	0,6	22,0
	Antistatikum	3,0%	122	0,6	2,2
Zwischensumme			122		73,3
Pflatsche					
	Polymerdisp.	74,6%	122	0,2	18,2
	<i>Polymer T.S.</i>	55%			10,0
	<i>Wasser</i>	45%			8,2
	Wasser	3,2%	122	0,2	0,8
	Seife	3%	122	0,2	0,73
	<i>Seife T.S.</i>	24%			0,18
	<i>Wasser</i>	76%			0,56
	Netzmittel	0,3%	122	0,2	0,07
	<i>Netzmittel T.S.</i>	50%			0,04
	<i>Wasser</i>	50%			0,04
	Füllstoff	20,3%	122	0,2	5,0
	<i>Kreide</i>	24%			1,2
	<i>Al(OH)3</i>	76%			3,8
	Verdicker	0,7%	122	0,2	0,17
	<i>Verdicker T.S.</i>	11%			0,02
	<i>Wasser</i>	89%			0,15
Zwischensumme			122	0,20	25,0
Rohstoffeinsatz			244	1,00	245,0
davon Wasser			244	0,22	53,9
Nadelvliese (trocken)			244	0,8	191,2

Der Inhalt der Tabelle ist in Abb. 3.3-26 graphisch dargestellt.

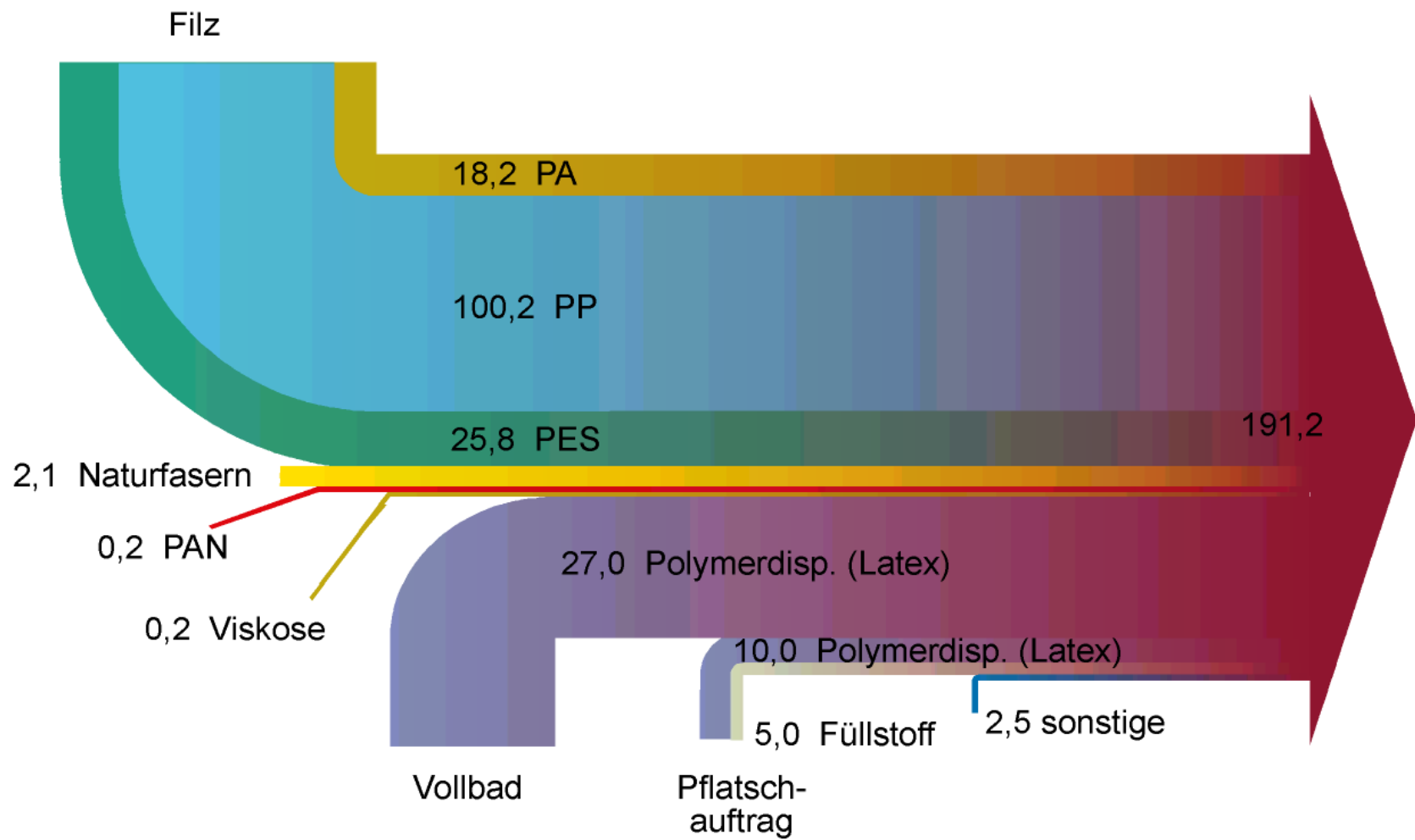


Abbildung 3.3-26: Stoffflussdiagramm der Nadelvliese in kt/a (Trockengewichte)

3.3.3. *GEWEBTE TEXTILE BODENBELÄGE*

Bei den gewebten textilen Bodenbelägen muss zwischen den flachgewebten Artikeln und den sogenannten polartigen unterschieden werden. Flachgewebte Artikel haben nur einen Marktanteil von 3%. Bei der Berechnung der Materialmengen wurde weiterhin davon ausgegangen, dass alle gewebten Bodenbeläge eine verfestigende Rückenbeschichtung, allgemein als Appretur bezeichnet, erhalten. Besonders im Bereich der Flachgewebe werden hierfür häufig auch Naturlatexrezepturen eingesetzt. Da allerdings die Datenlage für eine Berechnung in diesem Bereich nicht zufriedenstellend ist, wurde in dem Modell davon ausgegangen, dass alle Rückenaustrüstungen durch geeignete Polymerdispersionen erfolgen. Abbildung 3.3-27 gibt in der üblichen Form einen Überblick der strukturierten Materialflüsse für den Bereich der Webwaren. Die berechneten Ergebnisse sind in Tabelle 3.3-20 zu finden.

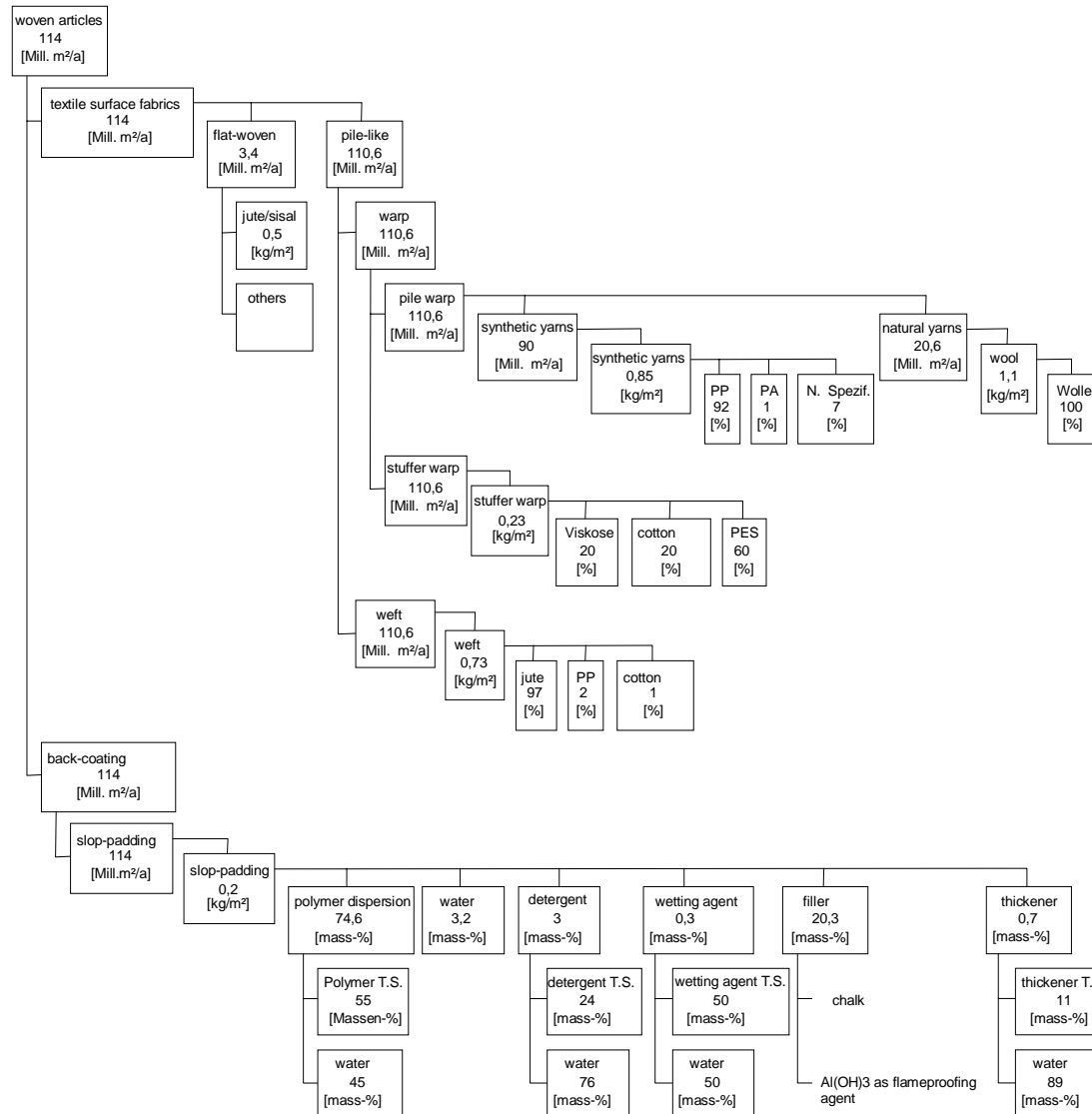


Abbildung 3.3-27: Datenstruktur der Massenflüsse für Webwaren

Tabelle 3.3-20: Materialmengen im Bereich der Webwarenproduktion					
	Materialzusammen- setzung	Anteil des Materials	produzierte Menge [Mio. m ² /a]	Einsatzgewicht [kg/m ²]	Bruttomaterial- einsatz [kt/a]
flachgewebt					
	Jute / Sisal	98%	3,4	0,50	1,7
	sonstige	2 %	3,4	0,50	0,03
Zwischensumme			3,4		1,7
Polartig					
Polkette	Chemiegarne	100%	90,0	0,85	76,5
	PP-Faser	92,0%	90,0	0,85	70,4
	PA-Faser	1,0%	90,0	0,85	0,8
	nicht spezif.	7,0%	90,0	0,85	5,3
	Naturgarne	100%			22,7
	Wolle	100,0 %	20,6	1,1	22,7
Zwischensumme			110,6		99,2
Füllkette					
	Viskose-Faser	20,0%	110,6	0,23	5,1
	Baumwoll-Faser	20,0%	110,6	0,23	5,1
	PES-Faser	60,0%	110,6	0,23	15,3
Zwischensumme			110,6		25,4
Schluß					
	Jute-Faser	97%	110,6	0,73	78,3
	PP-Faser	2%	110,6	0,73	1,6
	Baumwoll-Faser	1%	110,6	0,73	0,8
Zwischensumme			110,6		80,7
Rückenausrüstung					
	Polymerdisp.	74,6%	114	0,2	17,0
	<i>Polymer T.S.</i>	55%			9,4
	<i>Wasser</i>	45%			7,6
	Wasser	3,2%	114	0,2	0,73
	Seife	3%	114	0,2	0,68
	<i>Seife T.S.</i>	24%			0,16
	<i>Wasser</i>	76%			0,52
	Netzmittel	0,3%	114	0,2	0,07
	<i>Netzmittel T.S.</i>	50%			0,03
	<i>Wasser</i>	50%			0,03
	Füllstoff	20,3%	114	0,2	4,6
	<i>Kreide</i>	24%			1,1
	<i>Al(OH)3 (*)</i>	76%			3,5
	Verdicker	0,7%	114	0,2	0,16
	<i>Verdicker T.S.</i>	11%			0,02
	<i>Wasser</i>	89%			0,14
Zwischensumme			114		23,3
Rohstoffeinsatz			114	2,02	230,3
davon Wasser			114	0,08	9,0
Webwaren trocken			114	1,94	221,3

Der Inhalt der Tabelle ist in Abb. 3.3-28 graphisch dargestellt.

Textiles Flächengewebe

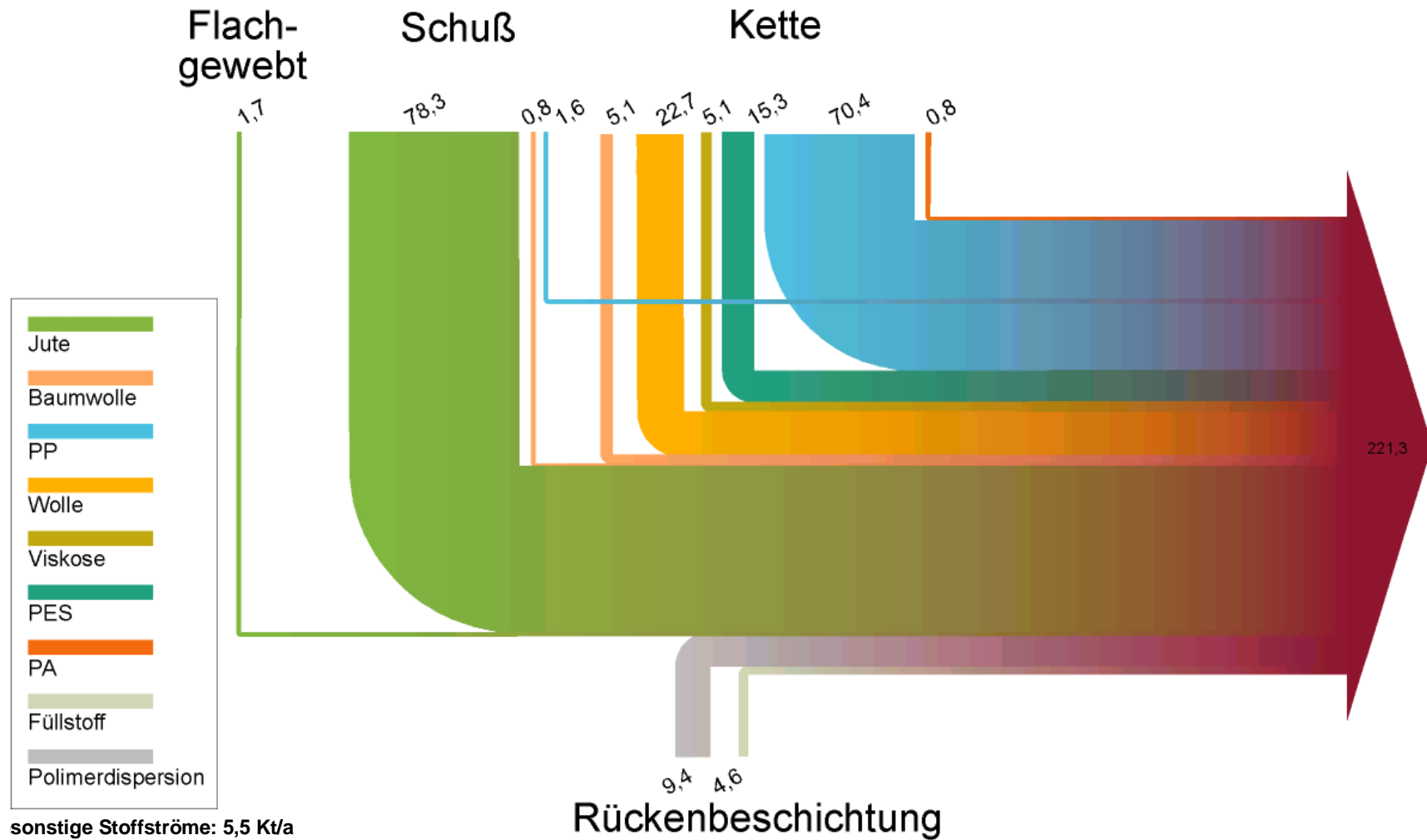


Abbildung 3.3-28: Stoffflussdiagramm der Webwaren in kt/a

3.3.4. FARBGEBUNG

Zur Farbgebung textiler Bodenbeläge stehen die in Kapitel 2.3.2 beschriebenen Methoden zur Verfügung. Sie werden in Abhängigkeit der Kundenanforderungen in unterschiedlichen Kombinationen eingesetzt. Bei Bedarf können sogar einzelne Teppichboden-Designs z. B. durch nachgeschaltete Kombination von Rotationsdruck und anschließender Kufenfärbung ausgerüstet werden.

Die Kombination aus Fasertypen und Faser-/Farbstoff -Affinitäten bei gleichzeitiger Verwendung unterschiedlich schnell ziehender Farbstoffe hat eine mehrdimensionale Eigenschaftsmatrix zur Folge. Dies ermöglicht eine breite Angebotspalette hinsichtlich Echtheiten und Design, die auch abhängig von Marktlage und Modeerscheinungen starken Mengenverschiebungen unterliegt. Hierdurch wird eine quantitative Auswertung im Sinne der angestrebten Stoffflussanalyse unmöglich.

Dennoch wird ein qualitativer Überblick der umgesetzten Farbstoffe und Hilfsmittel mit Hilfe der nachfolgenden Tabellen und Grafiken gegeben.

Tabelle 3.3-21: Typische Faserverteilung in der Polschicht textiler Bodenbeläge	
Material	Anteil an der Gesamtmenge [%]
Polyamid (PA)	57,4
Polypropylen (PP)	34,3
Polyester (PES)	1,7
Wolle (WO)	5,0
Polyacrylnitril (PAN)	0,7
Baumwolle	0,9

Tabelle 3.3-22: Prinzipielle Zusammensetzung der Farbstoffe *	
Teilstoff	Menge [g/kg]
Farbkörper **	400-500
Stellmittel	400-500
Entstaubungsmittel auf Ölbasis	0-40

* nicht berücksichtigt sind: Restfeuchte oder Salze aus der Produktion

**Farbkörper ist hier das reine farbgebende chromophore System. Die Stellmittel sind notwendig, um die anwendungstechnische Verfügbarkeit und Konstanz zu gewährleisten.

Tabelle 3.3-23: Fremdchemikalien in der Teppichbodenveredlung*	
Lösemittel aus Polymerisation, Spinnprozeß, sowie Mono- und Oligomere	ca. 3% **
Spinnhilfsmittel, Gleitmittel	ca. 2-3% **

* im wesentlichen Faserauflagen und Restbestandteile aus der Faserproduktion

** Die prozentualen Angaben beziehen sich auf das Gewicht des verarbeiteten Polyamids, nicht auf den fertig verarbeiteten Teppichboden!

Tabelle 3.3-24: Prinzipielle Zusammensetzung von Färbeflotten *	
Wasser	
Farbstoff ca. 0,01 – 0,2 g/l // 0,1-2 %	
Färbehilfsmittel 2g/l; mit 50-70% Wasseranteil	

* Die Angaben beziehen sich auf das *Färben aus langer Flotte*. Dabei werden die Farbstoffmengen auf das zu färbende *Warengewicht* bezogen. Daher die Angabe 0,1 – 2%. Die Hilfsmittelmengen werden jedoch grundsätzlich auf die verwendete Menge Wasser bezogen, also 2 g/l.

Zur Vereinheitlichung der Angaben zur Wahrung der Übersichtlichkeit sind hier zusätzlich die eingesetzten Farbstoffmengen in g/l angegeben, wie es sonst nur für Rezepturen der Foulard-Verfahren üblich ist.

Weiterhin ist ein Flottenverhältnis von 10:1 angenommen. Hierbei wird die Menge des verwendeten Wassers auf das Gewicht der zu färbenden Ware bezogen, also 10 l Wasser für 1 kg Polyamid.

Tabelle 3.3-25: Richtrezepturen für Farbgebungsverfahren			
Ausziehverfahren	Farbstoff	0,1-2	%
	Egalisiermittel	0,5-2	%
	Entschäumer	0,1-0,6	%
	pH-Wert	8,5-4,5	
Druckverfahren (Reservedruck)	Farbstoff	1-20	g/kg
	Verdicker	12-15	g/kg
	Kationisches Reserviermittel	1,0-15	g/kg
	Antifrost (Egalisiermittel)	1,0-5,0	g/kg
	Entschäumer	0,5-10	g/kg
	pH-Wert für Buntreserve	6,0-4,5	
	pH-Wert für Weißreserve	11,0-7,0	
Druckverfahren (Überfärben)	Farbstoff	1-20	g/l
	Antifrost	1,0-3,0	g/l
	Egalisiermittel	1,0-3,0	g/l
	Entschäumer	0,5-2,0	g/l
	Verdicker	0,0-3,0	g/l
	pH-Wert	7,0-4,0	
	Flottenaufnahme	200-300	%

Produktionsabwässer

Am Beispiel einer praxisnahen Modell-Teppichfabrik kann unter Verwendung der hier aufgeführten Daten die Teppichproduktion und deren Abwasserströme beschrieben werden. Die sich daraus ergebenden Daten wurden mit dem Teppich-Forschungsinstitut, Aachen und der Fa. Vorwerk Teppichwerke AG auf Plausibilität hin abgestimmt.

In Abbildung 3.3-29 wird dargestellt, wie sich Abwasserkonzentrationen für einen Betrieb mit einer Jahresproduktion von 10 Mio. m² Teppichboden/a plausibel abschätzen lassen.

Bei einem durchschnittlichen Materialgewicht von 1,8 kg/m² und einem zu färbendem Polmaterial von 0,6 kg/m² wird ein Polmaterialverbrauch von 20 t/d errechnet und für die weiteren Betrachtungen zu Grunde gelegt. Dies ergibt einen ungefähren Farbstoffverbrauch von 200 kg/d.

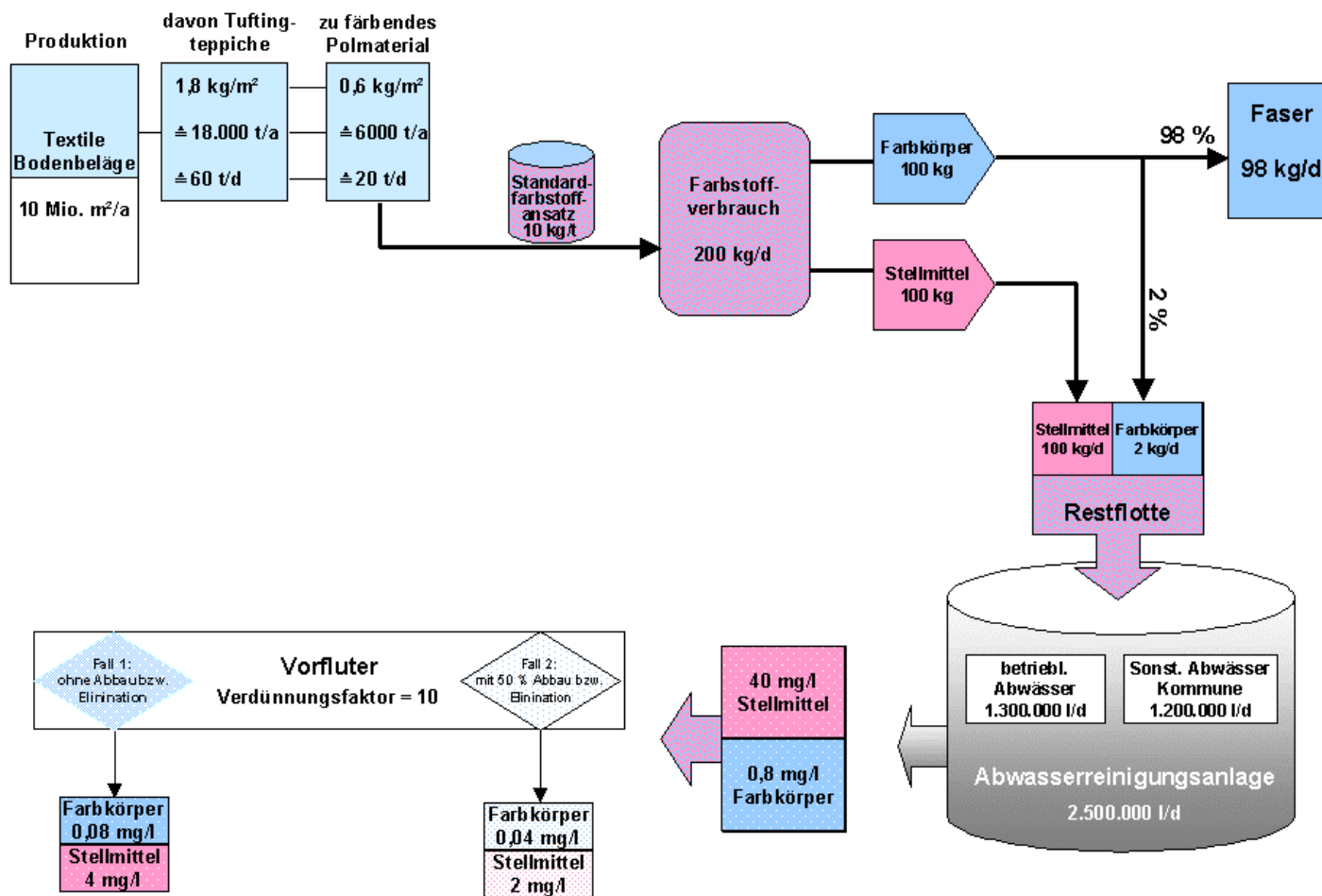


Abbildung 3.3-29: Berechnungsschema für den Eintrag von Farbmitteln in den Vorfluter durch den Färbeprozess

Während die Stellmittel unverändert in die Restflotte gelangen, befinden sich auf der Faser ca. 98 % des Farbkörpers. Vorausgesetzt ist ein hoher Ausziehgrad.

Im betrachteten Modellfall handelt es sich um einen sogenannten Indirekteinleiter, dessen gesammelte Abwässer in eine kommunale Kläranlage eingeleitet werden.

Nach der beschriebenen Vorgehensweise wurden die Konzentrationen weiterer relevanter Chemikalien im Abwasser berechnet, die im Verlauf des Färbeprozesses freigesetzt werden können. Dazu zählen neben den für die Färbung wichtigen Farbkörper, Stell- und Entstaubungsmitteln auch die Spinnöle, die zur leichten Führung der Garne in den Tuft- und Spinnmaschinen auf die Faser aufgebracht werden. Die in die Kläranlage geleiteten Stoffe werden in unterschiedlichem Maße biologisch abgebaut oder an den Klärschlamm gebunden. Die in der Tabelle 3.3-26 angegebenen Konzentrationen im Kläranlagenablauf stellen dort den „worst case“ dar, da die Elimination mit Null angesetzt wurde.

Tabelle 3.3-26: Chemikalien bei der Färbung von Teppichböden: Einsatzmengen und Konzentrationen in Kläranlage und Vorfluter				
Chemikalien	Einsatzmenge [kg/d]	Eintrag in das Abwasser [kg/d]	Konzentration Kläranlagenablauf ohne Elimination [mg/l]	worst case Konzentrationen nach Verdünnung im Vorfluter (1/10) [mg/l]
Farbkörper	100	2 ↔ 2 %	0,8	0,08
Stellmittel	100	100 ↔ 100 %	40	4
Spinnöle	400	240 ↔ 60 %	96	10
Schwermetalle in Farbkörpern	0,4	0,008 ↔ 2 %	0,003	0,0003
Entstaubungsmittel	4	4 ↔ 100 %	1,6	0,16

Bei entsprechender Verdünnung in der Abwasserreinigungsanlage und dem nachgeschalteten Vorfluter, ergibt sich bei einer modellhaften* 50 %igen Elimination eine Farbstoff-Restkonzentration von 0,04 mg/l und eine Stellmittelkonzentration von 2,0 mg/l.

* Während die Stellmittel unverändert in die Restflotte gelangen, befinden sich auf der Faser ca. 98% des Farbkörpers. Voraussetzung ist ein hoher Ausziehgrad, der für eingesetzte Farbstoffe zur Färbung von PA-Fasern aus der Praxis bekannt ist.

3.3.5. BILANZIERUNG VON WASSER UND ENERGIEVERBRAUCH

Neben den Rohstoffen, die zur Produktion textiler Bodenbeläge eingesetzt werden, interessiert des weiteren auch der Verbrauch anderer Ressourcen wie Wasser und Energie. Auch hier werden die drei Hauptherstellungsverfahren untersucht und solche Produktionsschritte in die Betrachtung aufgenommen, bei denen Wasser eine Rolle spielt bzw. Energie (Öl, Gas) in Form von Elektrizität oder Wärme verbraucht wird.

Wasserverbrauch bei der Herstellung textiler Bodenbeläge

Der Wasserverbrauch bei der Produktion beschränkt sich im wesentlichen auf die Produktionsschritte des Färbens und des Beschichtens. Dabei wird im folgenden jeder Produktionsschritt gesondert behandelt, denn je nach Beschichtungs- oder Färbeverfahren wird unterschiedlich viel Wasser zugesetzt und anschließend als Abwasser abgegeben. Die in den Prozess zugeführten Wassermengen sind dabei immer größer als die abgegebenen Mengen. Ein Teil muss als dampfförmiger Verlust in die Berechnungen aufgenommen werden, der beim Erhitzen entsteht bzw. bei Beschichtungsprozessen gezielt verdampft wird. In Abbildung 3.3-30 und Abbildung 3.3-31 werden die so ermittelten Verhältnisse für den Tuftingbereich dargestellt. Ein Gesamtüberblick des Wasserverbrauches für die Bereiche Tufting, Nadelvlies und Webwaren findet sich in den Tabelle 3.3-27 bis Tabelle 3.3-30, in den sich anschließenden Graphiken sind zusätzlich die spezifischen Werte enthalten.

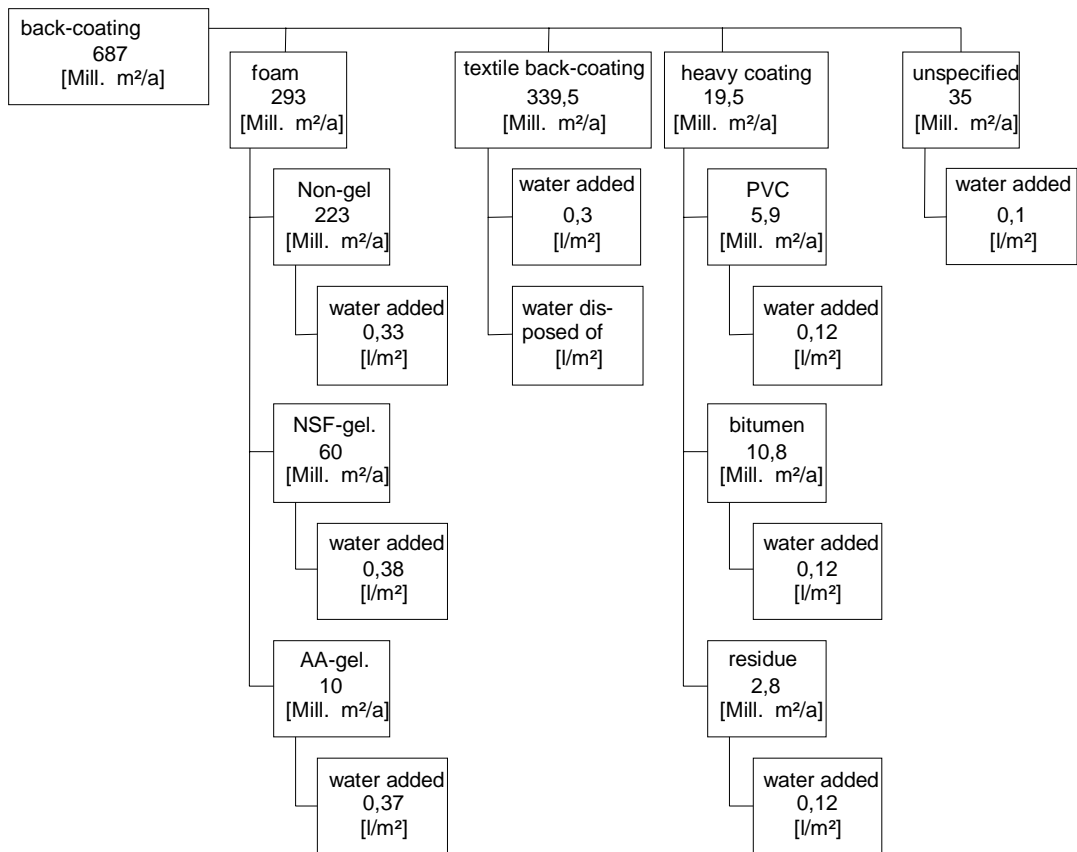


Abbildung 3.3-30: Datenstruktur der Massenflüsse für den Wassereinsatz im Bereich der Rückenbeschichtung bei Tuftingartikeln

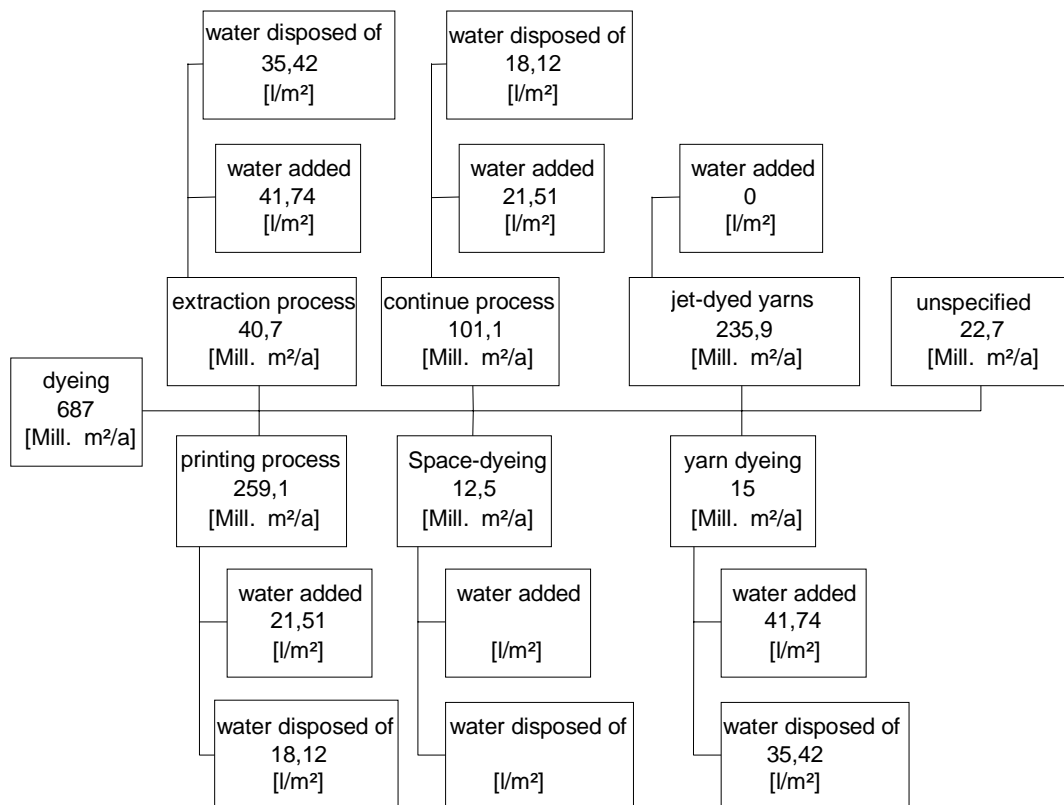


Abbildung 3.3-31: Datenstruktur der Massenflüsse für den Wasserverbrauch der Färbeverfahren bezogen auf die Menge getufteter Bodenbeläge

Tabelle 3.3-27: Wassereinsatz beim Färben von Tuftingartikeln				
Prozeß		Wassereinsatz [l/m²]	produzierte Menge Teppichboden [Mio. m²/a]	Wassermenge [Mio. l/a]
Ausziehverfahren	zugeführt	41,74	40,7	1698,8
	abgeführt	35,42	40,7	1441,6
Druckverfahren	zugeführt	21,51	259,1	5573,2
	abgeführt	18,12	259,2	4696,7
Kontinueverfahren	zugeführt	21,51	101,1	2174,7
	abgeführt	18,12	101,1	1831,9
Space-Dyeing	zugeführt	21,51	12,5	268,9
	abgeführt	18,12	12,5	226,5
Garnfärbung	zugeführt	41,74	15	626,1
	abgeführt	35,42	15	531,3
Wasser zugeführt				10341,7
Wasser verdampft				1613,7
Wasser abgeführt				8728

Der Inhalt der Tabelle ist in Abb. 3.3-32 und Abb. 3.3-34 graphisch dargestellt.

Tabelle 3.3-28: Wassereinsatz bei der Beschichtung von Tuftingartikeln				
Prozeß	Wassereinsatz		produzierte Menge	Wassermenge
		[l/m²]	Teppichboden	[Mio. l/a]
			[Mio. m²/a]	
Textilrücken	zugeführt	0,24	339,5	81,5
	abgeführt	0,00	339,5	0,0
Schaum Non-Gel	zugeführt	0,33	223	73,6
	abgeführt	0,00	223	0,0
Schaum NSF	zugeführt	0,38	60	22,8
	abgeführt	0,00	60	0,0
Schaum AA	zugeführt	0,37	10	3,7
	abgeführt	0,00	10	0,0
PVC-Beschichtung	zugeführt	0,12	5,9	0,7
	abgeführt	0,00	5,9	0,0
Bitumen-Beschichtung	zugeführt	0,12	10,8	1,3
	abgeführt	0,00	10,8	0,0
Andere	zugeführt	0,12	2,8	0,3
	abgeführt	0,00	2,8	0,0
ohne Angabe	zugeführt	0,12	35	4,2
	abgeführt	0,00	35	0,0
Wasser zugeführt				188,1
Wasser verdampft				188,1
Wasser abgeführt				0,0

Der Inhalt der Tabelle ist in Abb. 3.3-33 und Abb. 3.3-34 graphisch dargestellt.

Tabelle 3.3-29: Wassereinsatz bei der Nadelvliesproduktion				
Prozeß	Wassereinsatz		produzierte Menge	Wassermenge
		[l/m²]	Teppichboden	[Mio. l/a]
			[Mio. m²/a]	
Garnfärbung	zugeführt	41,74	77,5	3233,8
	abgeführt	35,42	77,5	2744,2
Rückenausrüstung	zugeführt	0,22	244,4	53,8
	abgeführt	0,00	244,4	0,0
Wasser zugeführt				3287,6
Wasser verdampft				543,4
Wasser abgeführt				2744,2

Der Inhalt der Tabelle ist in Abb. 3.3-35 graphisch dargestellt.

Tabelle 3.3-30: Wassereinsatz im Bereich der Webwarenproduktion				
Prozeß	Wassereinsatz [l/m²]	produzierte Menge Teppichboden [Mio. m²/a]	Wassermenge [Mio. l/a]	
Garnfärbung	zugeführt	41,74	49,5	2065,1
	abgeführt	35,42	49,5	1752,4
Rückenausrüstung	zugeführt	0,08	114	9,0
	abgeführt	0,00	114	0,0
Wasser zugeführt			2074,1	
Wasser verdampft			321,7	
Wasser abgeführt			1752,4	

Der Inhalt der Tabelle ist in Abb. 3.3-36 graphisch dargestellt.

Tabelle 3.3-31: Zusammenfassung der verbrauchten Wassermengen für die Teppichproduktion			
Wasser	zugeführt	verdampft	abgeführt
[Mio. m ³ /a]	15,9	2,6	13,2
[l/m ²]	15,2	2,5	12,6

Der Inhalt der Tabelle ist in Abb. 3.3-37 graphisch dargestellt.

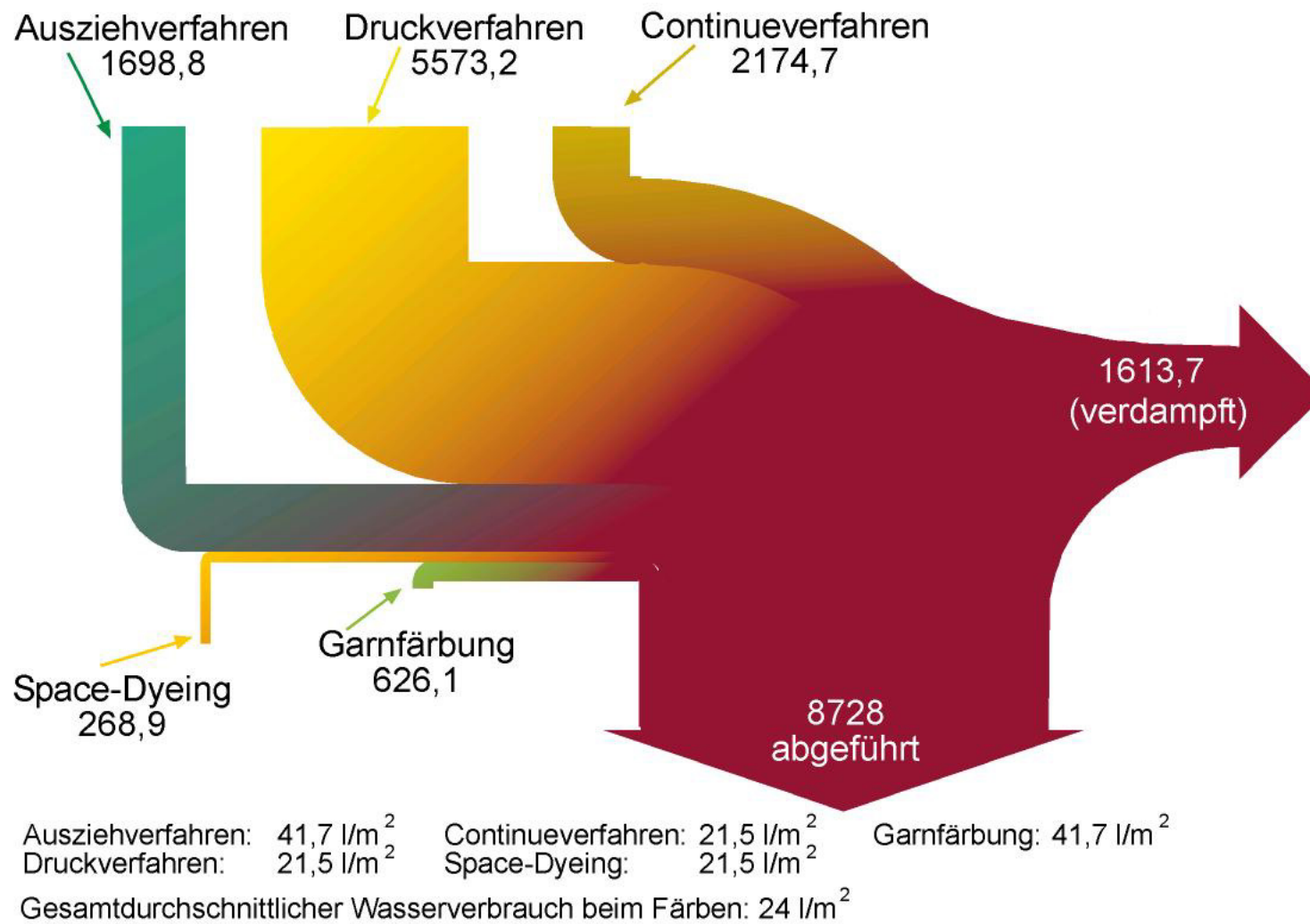


Abbildung 3.3-32: Stoffflussdiagramm für den Wasserverbrauch beim Färben von Tuftingartikeln in Mio. l/a

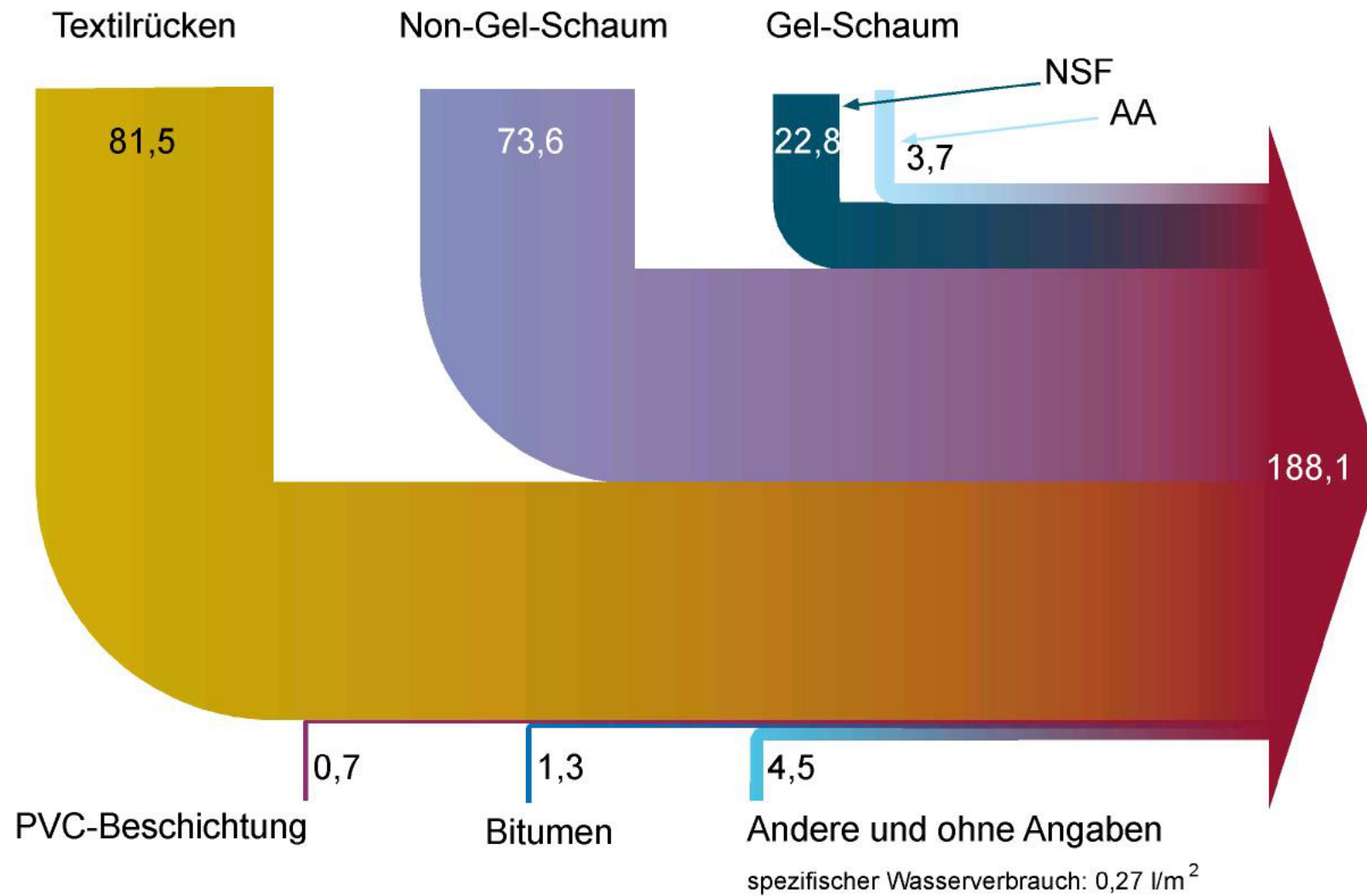


Abbildung 3.3-33: Stoffflussdiagramm für den Wasserverbrauch beim Beschichten von Tuftingartikeln in Mio. l/a

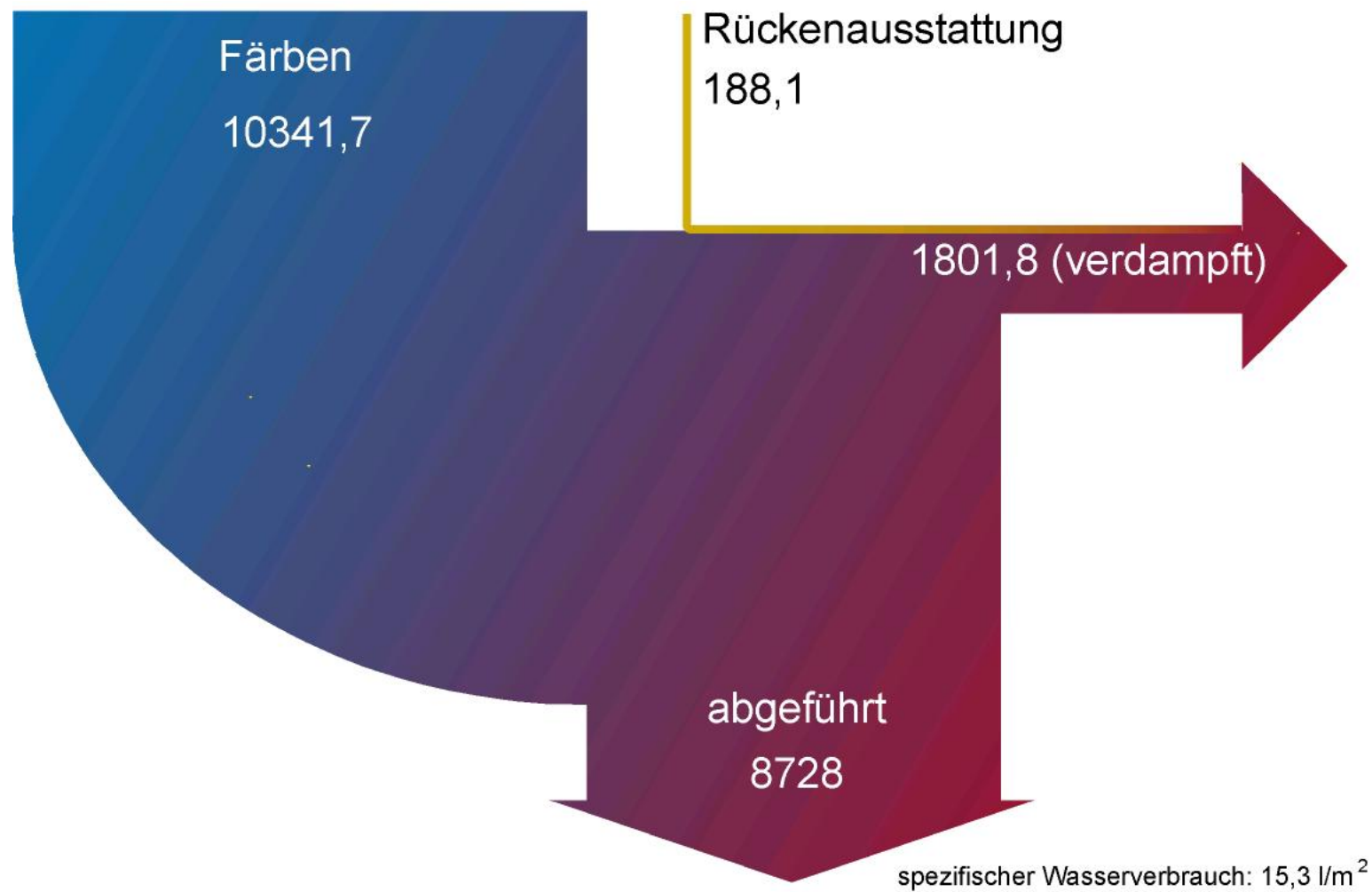


Abbildung 3.3-34: Stoffflussdiagramm für den Wasserverbrauch Tufting gesamt in Mio. l/a

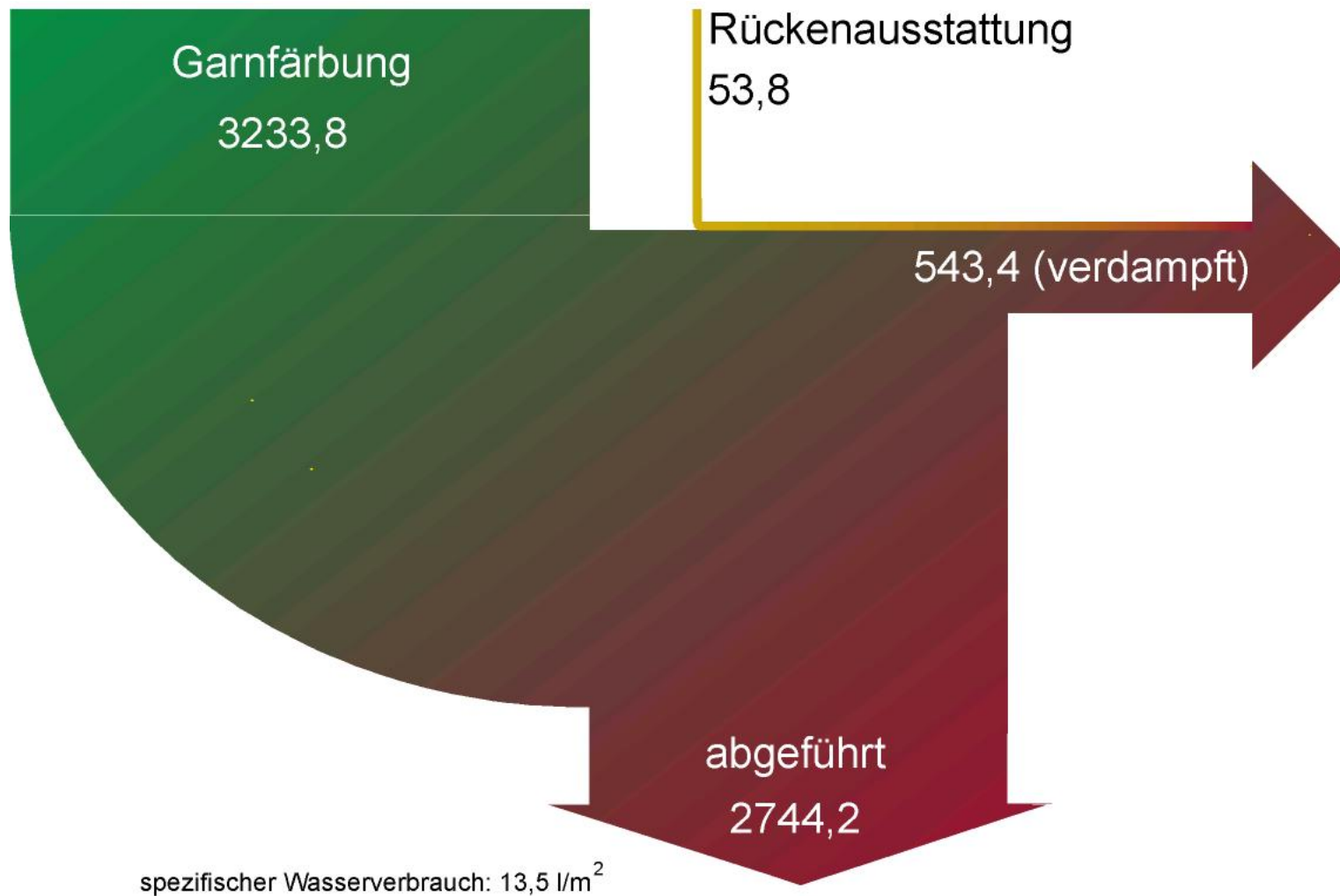


Abbildung 3.3-35: Stoffflussdiagramm für den Wasserverbrauch für Nadelvliese in Mio. l/a

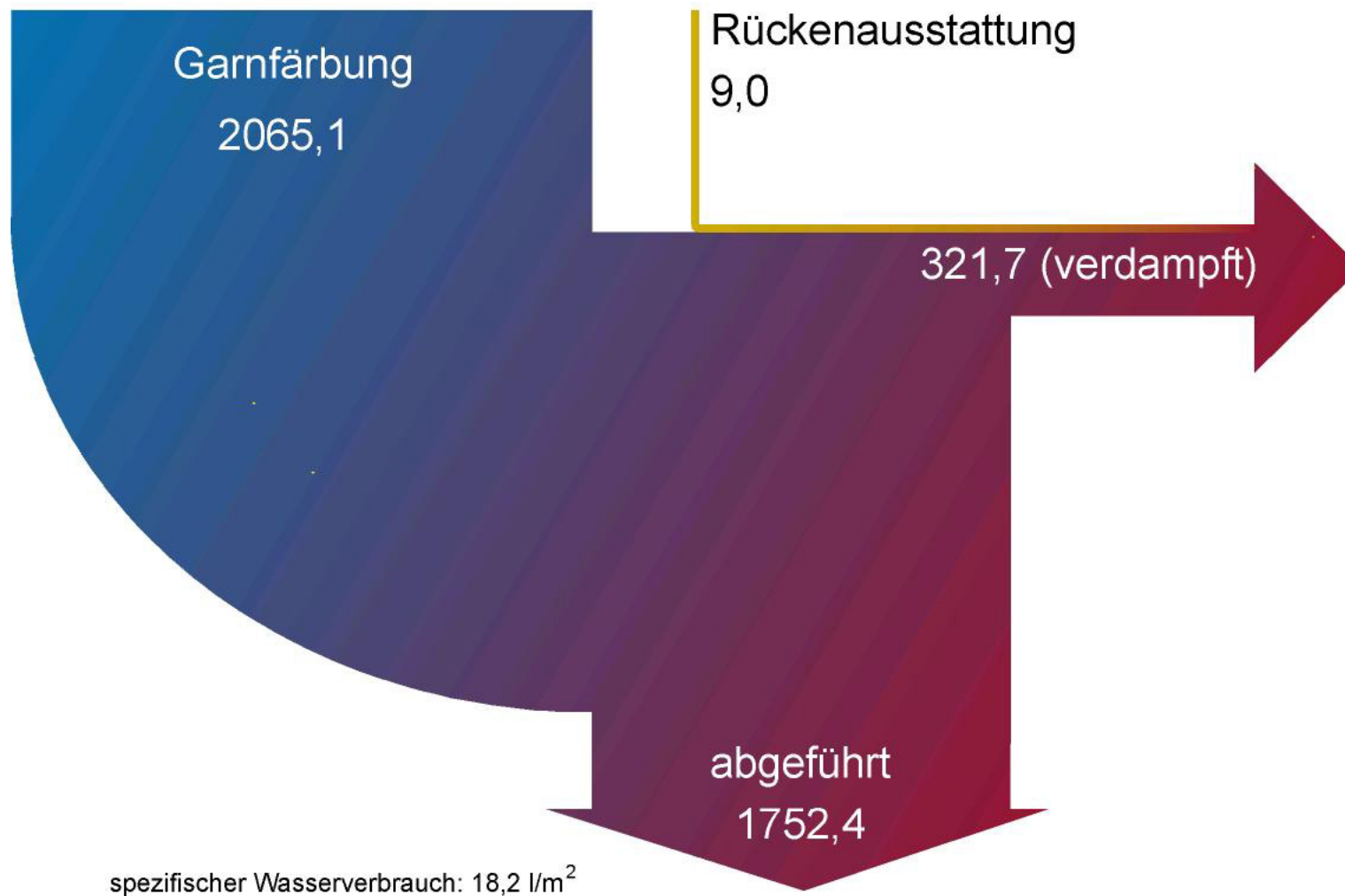


Abbildung 3.3-36: Stoffflussdiagramm für den Wasserverbrauch für Webwaren in Mio. l/a

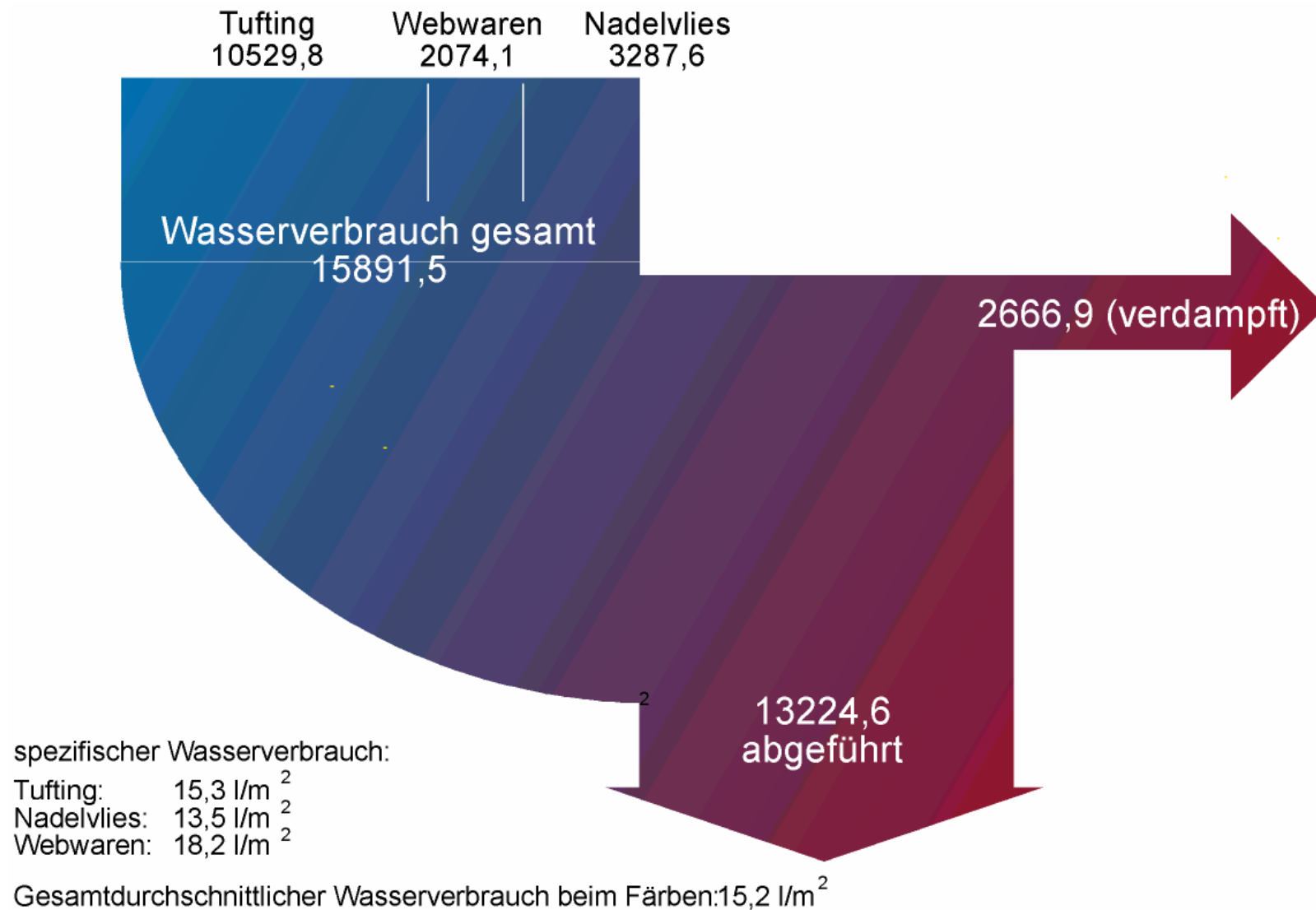


Abbildung 3.3-37: Stoffflussdiagramm für den Gesamtwasserverbrauch bei der Herstellung textiler Bodenbeläge in Mio. l/a

Energieverbrauch bei der Herstellung textiler Bodenbeläge

Bei allen Produktionsverfahren wird thermische und elektrische Energie benötigt. Angaben über den Energiebedarf sind dabei nicht immer unmittelbar vorhanden. Zwar werden durch die Einführung von Umweltmanagementsystemen bereits bei einigen Herstellern der Energiebedarf bezogen auf die hergestellten m² erfasst, doch wird dies nicht immer konsequent durchgehalten. Auch an dieser Stelle wurde, aufbauend auf Experteninformationen (Maschinenhersteller) und eigenen Untersuchungen, die im Rahmen eines AiF-Forschungsvorhabens (Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e.V.) vorgenommen wurden, ein Modell entwickelt, mit dem eine verfahrensabhängige Aussage des Energiebedarfs möglich ist. In den folgenden Abbildungen wird der Energiebedarf in der gewohnten Weise den einzelnen Verfahren zugeordnet, und zwar jeweils getrennt nach elektrischer und thermischer Endenergie (Abbildung 3.3-38 bis Abbildung 3.3-40). Nach tabellarischer Auswertung der Ergebnisse werden die berechneten Energiedaten in Primärenergie umgerechnet, wodurch ein Vergleich mit anderen Produktionsbereichen möglich wird.

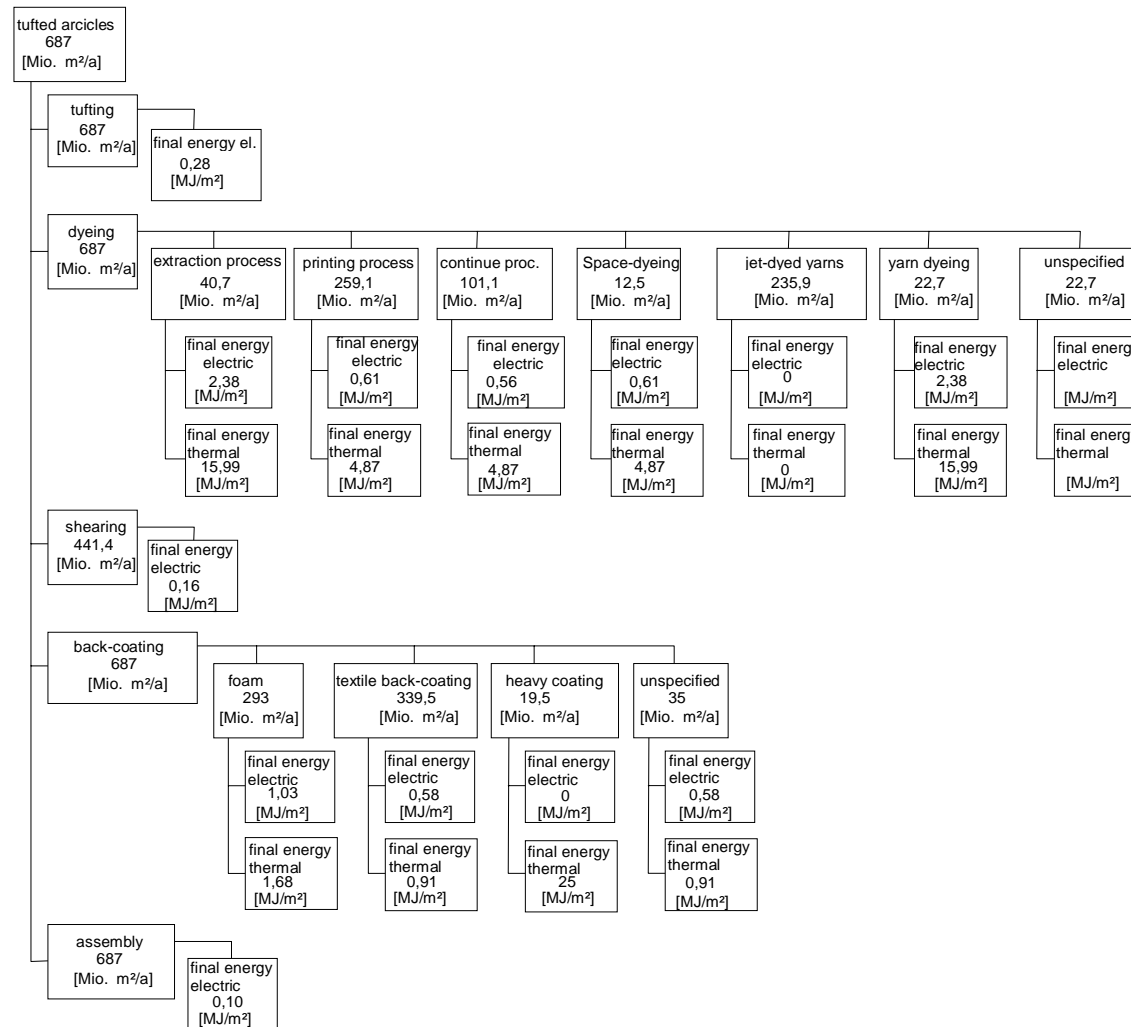


Abbildung 3.3-38: Datenstruktur der Massenflüsse zur Ermittlung des Energiebedarfs bei der Produktion von Tuftingartikeln

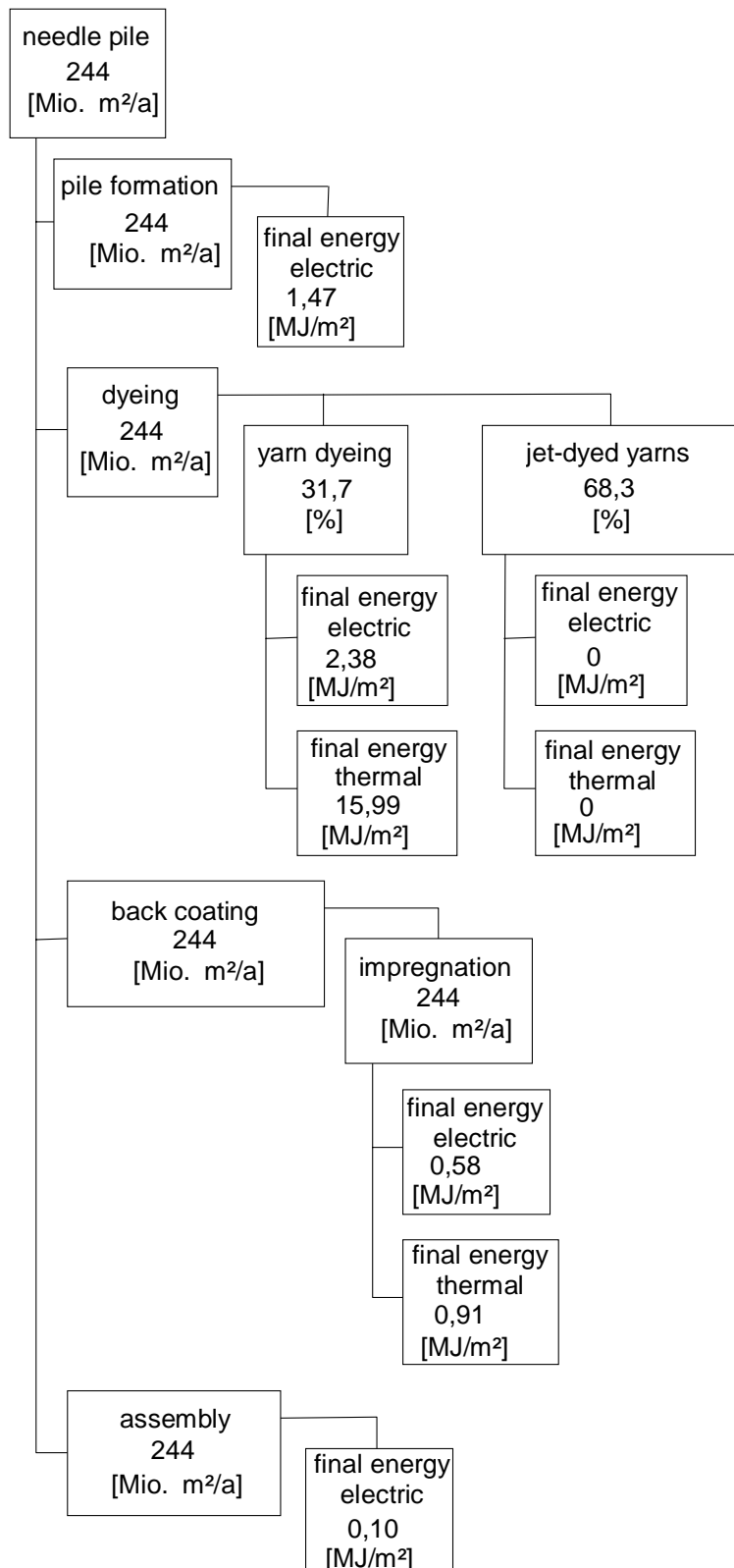


Abbildung 3.3-39: Datenstruktur der Massenflüsse zur Ermittlung des Energiebedarfs bei der Herstellung von Nadelvliesen

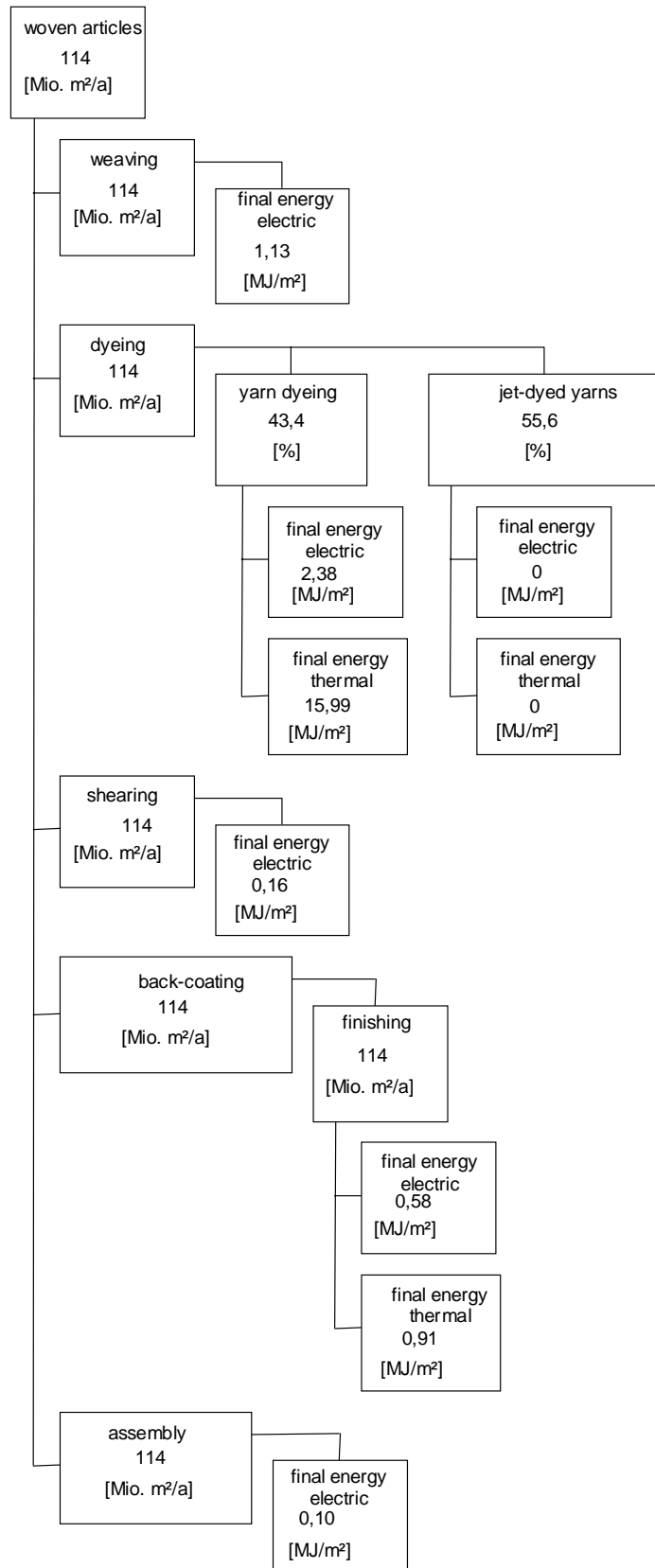


Abbildung 3.3-40: Datenstruktur der Massenflüsse zur Ermittlung des Energiebedarfs bei der Herstellung von Webwaren

Tabelle 3.3-32: Endenergiebedarf bei der Produktion von Tuftingbelägen					
Prozeß	Wirkungsgrad Energieumwandlung		Endenergie	produzierte	Primärenergie
		E_{pri} in E_{end}	E_{end} [MJ/m²]	Menge [Mio. m²/a]	E_{pri} [TJ/a]
Tuften					
Tuften	elektrisch	0,39	0,28	687	493,3
	thermisch	0,80	0,00	687	0,0
Zwischensumme					493,3
Färben					
Ausziehverf	elektrisch	0,39	2,38	40,7	248,4
	thermisch	0,80	15,99	40,7	813,5
Zwischensumme					1061,9
Drucken	elektrisch	0,39	0,61	259,2	405,4
	thermisch	0,80	4,87	259,2	1577,9
Zwischensumme					1983,3
Kontinueverf.	elektrisch	0,39	0,56	101,1	145,2
	thermisch	0,80	4,87	101,1	615,4
Zwischensumme					760,6
Spacedying	elektrisch	0,39	0,61	12,5	19,6
	thermisch	0,80	4,87	12,5	76,1
Zwischensumme					95,6
Garnfärbung	elektrisch	0,39	2,38	15	91,5
	thermisch	0,80	15,99	15	299,8
Zwischensumme					391,4
Zwischensumme Färben					4292,8
Scheren					
Scheren	elektrisch	0,39	0,16	441,4	181,1
	thermisch	0,80	0,00	441,4	0,0
Zwischensumme Scheren					181,1
Beschichten					
Textilrücken	elektrisch	0,39	0,58	339,5	504,9
	thermisch	0,80	0,91	339,5	386,2
Zwischensumme					891,1
Schaum	elektrisch	0,39	1,03	293	774,1
	thermisch	0,80	1,68	293	615,5
Zwischensumme					1389,6
Schwerbesch.	elektrisch	0,39	0,00	19,5	0,0
	thermisch	0,80	25,00	19,5	609,4
Zwischensumme					609,4
n.spezifiziert	elektrisch	0,39	0,58	35	52,1
	thermisch	0,80	0,91	35	39,8
Zwischensumme					91,9
Zwischensumme Beschichtung					2981,9
Konfektionieren					
Konfekt.	elektrisch	0,39	0,10	687	176,2
	thermisch	0,80	0,00	687	0,0
Zwischensumme Konfektionieren					176,2
Summe Tuftingartikel					8125,3

Der Inhalt der Tabelle ist in Abb. 3.3-41 graphisch dargestellt.

Tabelle 3.3-33: Energiebedarf bei der Nadelvliesproduktion					
Prozeß	Wirkungsgrad Energieumwandlung	Endenergie		produzierte Menge [Mio. m ² /a]	Primärenergie E _{pri} [TJ/a]
		E _{pri} in E _{end}	E _{end} [MJ/m ²]		
Vliesherstellung	elektrisch	0,39	0,57	244,4	357,2
	thermisch	0,80	0,00	244,4	0,0
Zwischensumme					357,2
Garnfärbung	elektrisch	0,39	2,38	77,5	472,8
	thermisch	0,80	15,99	77,5	1548,5
Zwischensumme					2021,3
Appretur	elektrisch	0,39	0,58	244,4	363,5
	thermisch	0,80	0,91	244,4	278,0
Zwischensumme					641,5
Konfekt.	elektrisch	0,39	0,10	244,4	62,7
	thermisch	0,80	0,00	244,4	0,0
Zwischensumme					62,7
Summe Nadelvliese					3082,7

Der Inhalt der Tabelle ist in Abb. 3.3-41 graphisch dargestellt.

Tabelle 3.3-34: Energiebedarf bei der Herstellung von Webwaren					
Prozeß	Wirkungsgrad Energieumwandlung	Endenergie		produzierte Menge [Mio. m ² /a]	Primärenergie E _{pri} [TJ/a]
		E _{pri} in E _{end}	E _{end} [MJ/m ²]		
Weben	elektrisch	0,39	1,13	114	330,3
	thermisch	0,80	0,00	114	0,0
Zwischensumme					330,3
Garnfärbung	elektrisch	0,39	2,38	49,5	301,9
	thermisch	0,80	15,99	9,5	988,9
Zwischensumme					1290,8
Scheren	elektrisch	0,39	0,16	114	46,8
	thermisch	0,80	0,00		0,0
Zwischensumme					46,8
Appretur	elektrisch	0,39	0,58	114	169,5
	thermisch	0,80	0,91	114	129,7
Zwischensumme					299,2
Konfekt.	elektrisch	0,39	0,10	114	29,2
	thermisch	0,80	0,00	114	0,0
Zwischensumme					29,2
Summe Webwaren					1996,3

Der Inhalt der Tabelle ist in Abb. 3.3-41 graphisch dargestellt.

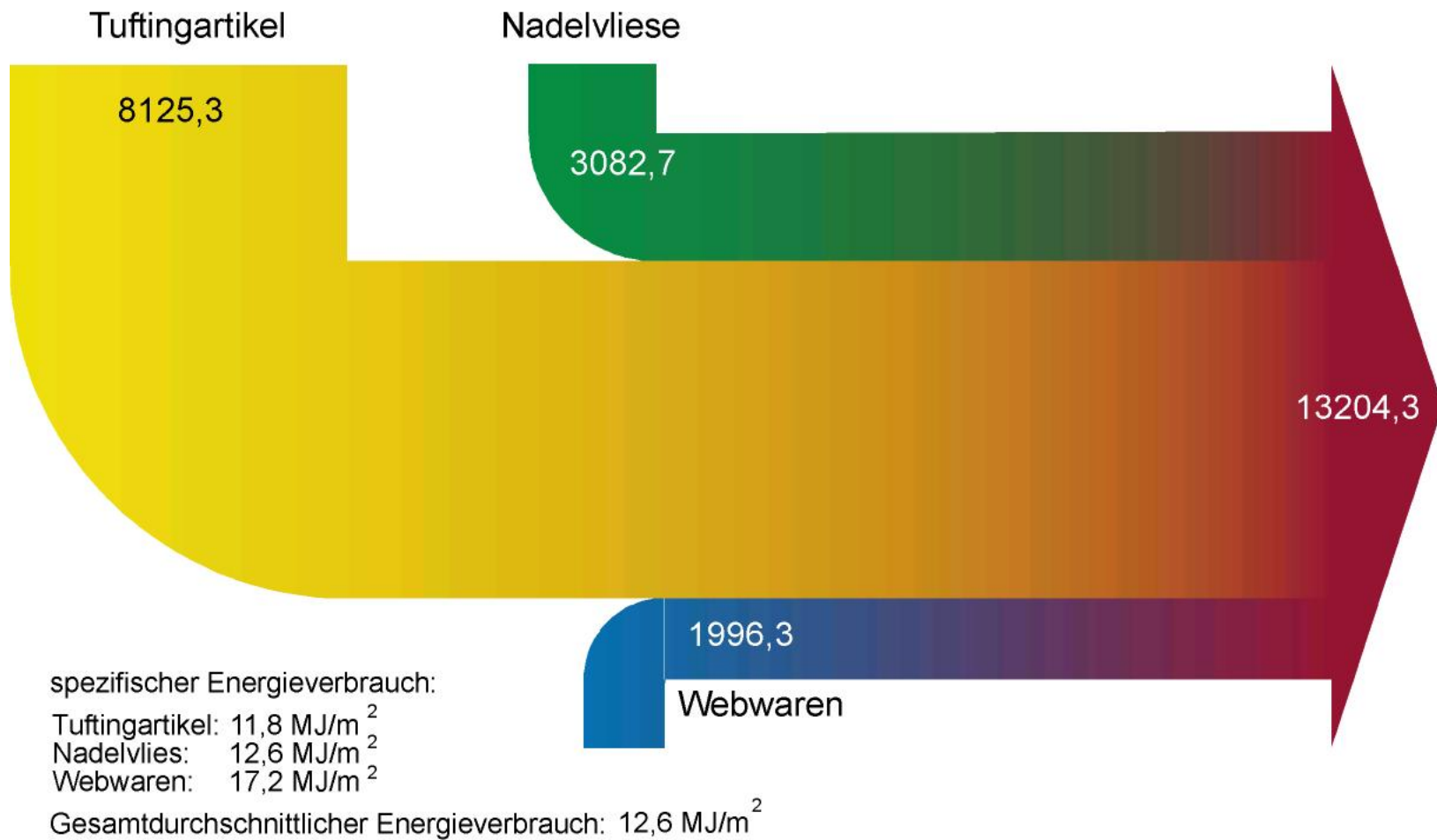


Abbildung 3.3-41: Stoffflussdiagramm für den Gesamtenergiebedarf bei der Herstellung textiler Bodenbeläge in TJ/a

3.4. SONSTIGE NEBENSTOFFSTRÖME DER PRODUKTION

Bei der Produktion textiler Bodenbeläge entstehen nach jedem einzelnen Produktionsschritt Nebenstoffströme. Dies können Abwässer, Abfälle oder luftseitige Emissionen sein.

Die Abwassermenge, die bei der Produktion entsteht, kann quantitativ relativ genau bestimmt werden. Nach Tabelle 3.3-31 waren dies 1995 in Westeuropa 13224,6 Mio. l/a. Es fehlen aber Informationen über die Abwasserbelastung. Der Grund hierfür ist in den Anforderungen an die Abwasserqualität zu suchen, die je nach Standort eines Betriebes in Westeuropa unterschiedlich sein können. Nach eingehender Diskussion dieser Problematik fasste der Ausschuss die Entscheidung, dieses Thema auszuklammern und die Untersuchung auf solche Nebenstoffströme zu beschränken, für die geeignetes Datenmaterial existiert.

Sowohl die luftseitigen Emissionen, die bei der Produktion (insbesondere der Beschichtung) entstehen, als auch solche, die vom Produkt Teppichboden selbst, etwa in Innenräumen verursacht werden, sind sehr gut untersucht. Als Datenbasis dienen dabei Emissionsmessungen an Beschichtungsanlagen, die vom TFI im Auftrag der GUT bei Teppichbodenherstellern durchgeführt wurden, und Ergebnisse aus Prüfkammeruntersuchungen, die im Rahmen der regelmäßigen GUT-Produktprüfung erhalten werden.

3.4.1. EMISSIONEN IN DIE LUFT

Die im Rahmen von Messungen in den Jahren 1992 bis 1995 gesammelten Emissionsdaten von Teppichbodenbeschichtungsanlagen wurden als Basis für die Beurteilung der Emissionssituation und des damit verbundenen Teilstoffstromes bei der Produktion herangezogen.

1992 wurden bei der Produktion eines Standardteppichs ca. 4,4 kg organischer Substanzen pro Stunde emittiert. Durch den Einsatz optimierter Rohstoffe, insbesondere von Latices mit einem niedrigeren Gehalt an Restmonomeren, konnte diese Menge bis 1995 auf 2,3 kg/h gesenkt werden. Unter Zuhilfenahme der jeweiligen Produktionsdaten lassen sich für Schaum- und Textilrückenbeschichtungen spezifische Emissionsfaktoren ermitteln. Diese betragen für Schaumartikel 1,62 g/m²

bzw. 0,53 g/m² für Textilrückenartikel. Bezogen auf die im Jahr 1995 produzierten Mengen berechnen sich die Gesamtemissionen für die Schaumproduktion auf 475 Tonnen und für die Textilrückenproduktion auf 180 Tonnen organischer Verbindungen. In der Summe also 655 Tonnen pro Jahr bezogen auf die Produktion von beschichteten Tuftingartikeln.

Es stellt sich nun jedoch die Frage, welcher Anteil an diesen Emissionen auf die zur Beschichtung eingesetzten Latices entfällt. Dieser Wert kann durch die folgende Berechnung ermittelt werden und liefert eine Abschätzung der Obergrenze.

Der Anteil flüchtiger organischer Verbindungen (VOC-Gehalt) in Latices kann mit einer oberen Grenze, sowohl für X-SBR als auch für SBR-Latices, von jeweils 600 mg/kg angesetzt werden. Bei einem Trockensubstanzgehalt von etwa 50%, ergibt sich ein maximaler VOC-Gehalt von 1.200 mg/kg oder 1,2 t/kt Latex „trocken“. Für das Jahr 1995 wurde ein Latexverbrauch von 226 kt (trocken) ermittelt, wodurch sich die maximalen Emissionen aus Latices zu 271 Tonnen errechnen. Bei einer Gesamtemission von 655 Tonnen und einem anlagenspezifischen Anteil an den Emissionen (teil- und unverbranntes Erdgas aus der Beheizung der Spannrahmen) zwischen 25 % und 45 % (entsprechend 163 bzw. 294 Tonnen, ermittelt durch Messungen) verbleiben 360 bis 491 Tonnen organische Emissionen, die direkt auf die zur Herstellung von Teppichböden eingesetzten Produkte zurückzuführen sind.

Da aber nur 271 Tonnen aus den eingesetzten Latices stammen können, verbleibt ein Rest von 90 bis 220 Tonnen. Diese Emissionen müssen aus anderen Quellen stammen. Es liegt nahe, die Quelle für diese Emissionen in den eingesetzten Hilfsstoffen für die Färberei und in Faserpräparationen zu suchen, die noch auf der Ware vorhanden sind und im Spannrahmentrockner an die Atmosphäre abgegeben werden. Bei einer Gesamteinsatzmenge von 391 kt Polmaterial für den Tuftingbereich ergibt sich bei einem Avivagen- und Präparationsanteil von 0,6% - 1,2 % eine Gesamtmenge von 2,3 bis 4,6 kt. Ein Teil dieser Substanzen wird durch die vorgeschalteten Färbe- und Waschprozesse von den Fasern gelöst und gelangt nicht in den Spannrahmen, so dass dort nur ein Bruchteil der ursprünglich vorhandenen Menge in die Atmosphäre abgegeben werden kann. Die ermittelten 220 t emittierter organischer Substanzen, die auf Hilfsstoffe und Faserpräparationen

zurückzuführen sind, entsprechen 4,7% der Gesamtmenge, die ursprünglich vorhanden war.

Anhand des vorhandenen Datenmaterials sind nicht nur Aussagen über die Summe emittierter Komponenten möglich, sondern auch Aussagen über Einzelsubstanzen. In der folgenden Tabelle 3.4-1 sind die Ergebnisse von 41 Einzelstoffbestimmungen ausgewertet worden. Dadurch ergibt sich ein Überblick über das Vorkommen und die Häufigkeit einzelner emittierter Substanzen.

Zur Benutzung der Tabelle ist zu sagen, dass sie sowohl Einzelsubstanzen als auch Substanzklassen enthält. Dies bedeutet, dass eine Einzelsubstanz durchaus in der Stoffklasse nochmals erfasst sein kann.

Tabelle 3.4-1: Liste der bei 41 Emissionsmessungen an textilen Bodenbelägen-Beschichtungsanlagen zwischen 1992 und 1995 gefundenen Substanzen. (In der Spalte Summe ist die Anzahl der einzelnen Nennungen aufgelistet).								
Substanz	Summe		Substanz	Summe		Substanz	Summe	
	Prozent	Prozent		Prozent	Prozent		Prozent	Prozent
4-Phenylcyclohexen	41	100	Ethylbenzol	4	9,8	Biphenylether	1	2,4
Styrol	40	97,6	alkyl. Naphthaline	4	9,8	Dimethyldihydromethanonaphthalin	1	2,4
4-Vinylcyclohexen	39	95,1	Carbonsäureester	4	9,8	Dihydrodimethylnaphthalin	1	2,4
alkyl. Cyclohexane	35	85,4	alkyl. Carbonsäureester	4	9,8	Methylbiphenyl	1	2,4
Toluol	34	82,9	Trimethylcyclohexane	4	9,8	Methyldiphenylpropen	1	2,4
Ethylbenzol	33	80,5	Tetramethylcyclohexan	4	9,8	Methylfluoren	1	2,4
Cumol	31	75,6	Nitroethenylbenzol	4	9,8	Naphthalin	1	2,4
aliph. Kohlenwasserst.	24	58,5	Ethylisithiocynat	4	9,8	Decahydronaphthalin	1	2,4
Trimethylbenzol/Ethyltoluol	22	53,7	Tetrachlorethen	4	9,8	Tetrahydrodimethylnaphthalin	1	2,4
Propylbenzol	21	51,2	Phosphorsäuretributylester	4	9,8	Trimethylnaphthalin	1	2,4
2-Ethylhexanol	19	46,3	Butylcyclohexanol	3	7,3	Butanol	1	2,4
Terpene	19	46,3	Pinanol	3	7,3	Decanol	1	2,4
Benzylaldehyd	18	43,9	aliph. Aldehyde	3	7,3	Methanol	1	2,4
Cyclohexencarbonitril	16	39,0	Propensäureethylester	3	7,3	Diisobutylphenol	1	2,4
Cyclohexanol	15	36,6	aliph. Carbonsäureester	3	7,3	Ethylhexanal	1	2,4
Tetramethylbenzol	14	34,1	Essigsäurephenylmethylester	3	7,3	Methylhexanon	1	2,4
alkyl. Phenole	12	29,3	Phenylbenzamin	3	7,3	Phenylpropanon	1	2,4
Trichlorethan	11	26,8	Isothiocyanatomethan	3	7,3	Hexanon	1	2,4
Siloxane	11	26,8	Mesitylen	2	4,9	Didekandidecylester	1	2,4
Propenylbenzol	10	24,4	Pentamethylbenzol	2	4,9	Essigsäurebutylester	1	2,4
Dihydro-1H-Inden	10	24,4	Methyl-tert.-butylbenzol	2	4,9	Essigsäurebenzylester	1	2,4
Benzothiazol	10	24,4	Dimethyldihydro-1H-Inden	2	4,9	Tetradekansäuremethylester	1	2,4
andere Benzole	9	22,0	Alkohole	2	4,9	Phthalsäurediethylester	1	2,4
Alkene	9	22,0	Diisopropylphenol	2	4,9	Phthalsäureester	1	2,4
aliph. Alkohole	8	19,5	Diisobutylmethylphenol	2	4,9	Octansäure	1	2,4
Diisopropylbenzol	7	17,1	Benzylalkohol	2	4,9	Essigsäure	1	2,4
Dodecene	7	17,1	Hexanal	2	4,9	Propionsäure	1	2,4
Ethyltoluole	6	14,6	Dimethylpentanon	2	4,9	Cyclohexen-Carbonsäure	1	2,4
Biphenyl	6	14,6	Butylacetat	2	4,9	Butyldiethylenglykol	1	2,4
Cyclohexanon	6	14,6	alkyl- Phthalsäureester	2	4,9	Butyltriethylenglykol	1	2,4
Acetophenon	6	14,6	Essigsäuremethoxypropylester	2	4,9	Methoxypropanol	1	2,4
Pinen	6	14,6	alkyl. p-Methanol-dioxolan	2	4,9	Alkoxyalkohole	1	2,4
Tributylphosphat	6	14,6	2,4,4-Trimethyl-1-penten	2	4,9	Triethylenglycol	1	2,4
Benzol	5	12,2	Menthan	2	4,9	alkyl. Anisole	1	2,4
o,m,p-Xylol	5	12,2	Tetramethylcyclohexane	2	4,9	Di-tert.-butylanisol	1	2,4
Trimethylbenzole	5	12,2	alkyl. Cyclohexene	2	4,9	alkyl. Phenoxybenzole	1	2,4
Methylbenzylalkohol	5	12,2	Methylisopropylcyclohexen	2	4,9	4-Hydroxybuttersäurelacton	1	2,4
aliph. Ketone	5	12,2	Terpineol	2	4,9	Acetoxyphenylphenoxyaceton	1	2,4
Glycole	5	12,2	Benzamin	2	4,9	Octahydromethyl-1h.inden-on	1	2,4
Methylisothiocyanat	5	12,2	Benzoldiamin	2	4,9	Tetrahydrofuran	1	2,4
Diethylnitrosamin	5	12,2	Dihydrotrimethylchinolin	2	4,9	Nonylcyclopropan	1	2,4
			Dimethylchinolin	2	4,9	Hexadecene	1	2,4
			Diethylformamid	2	4,9	Cyclohexen	1	2,4
			Cyclohexandicarbonitril	2	4,9	1- Limonen	1	2,4
			Dimethylaminoacetonitril	2	4,9	Dicycloterpineol	1	2,4
			Hexahydroazepinon	2	4,9	Delta-3-Caren	1	2,4
			Methylchinolin	2	4,9	Junipen	1	2,4
			Dodecanthiol	2	4,9	Terpinolen	1	2,4
			Isothiocyanatobenzol	2	4,9	Pinanol	1	2,4
			Benzlisothiocyanat	2	4,9	Phenylethenylbenzamin	1	2,4
			Ethylnitrosoethanamin	2	4,9	Phenylmethylenbenzamin	1	2,4
					Aminopyrimidin /Amino-1,3-Diazan	1	2,4	
					Pentamethylpiperidin	1	2,4	
					alkyl. Pyridine	1	2,4	
					Dimethylformamid	1	2,4	
					Ethylcyclohexanamin	1	2,4	
					Ethylbenzamin	1	2,4	
					Butylnitrosobutanamin	1	2,4	
					1H-Pyrazol	1	2,4	
					Methylpyrrolidinon/4-Amino-2-Methyl-Buttersäurelactam	1	2,4	
					Benzylthiocyanat	1	2,4	
					Phenylisothiocyanat	1	2,4	
					alkyl. Thiophene	1	2,4	
					Trimethylthiazol	1	2,4	
					alkyl. Thiazole	1	2,4	
					Ethylmethyl-benzo(b)thiophen	1	2,4	
					Hexadecafluorheptan	1	2,4	
					Nitrosophenylbenzamin	1	2,4	
					Hexamethylcyclotrisiloxan	1	2,4	
					Phenol	0	0,0	

Ein Abgleich der Tabelle 3.4-1, in der die Substanzen nach der Häufigkeit ihres Vorkommens sortiert sind (Nennungen), mit der Liste der Substanzen, die aufgrund der emittierten Menge von Relevanz sind (%-Anteil an Gesamtemissionen), ergibt eine neue Liste mit Substanzen, die einer genaueren Einzelbetrachtung zu unterziehen sind (s. Tabelle 3.4-2). Hierdurch ist es möglich, eine Vorstellung über die Menge einzelner Substanzen zu erlangen, die über die Abluft aus Produktionsanlagen in die Umwelt gelangen.

Tabelle 3.4-2: Relevante Substanzen in den Emissionen von Teppichbodenbeschichtungsanlagen		
Substanz	%-Anteil an Gesamtemissionen	Nennungen
4-PCH	6,5	41
Styrol	6,6	40
Vinylcyclohexen	1	39
Ethylbenzol	1,4	37
alkyl. Cyclohexane	22	35
Trimethylbenzol / Ethyltoluole	8,2	27
Octan - Tetradecan	3,5	24
Terpene	13,62	19
Cyclohexanol	1,2	15
Propenylbenzol	2	10
Dodecene	19,2	7
cis.-2-Pinanol	1,1	3
Summe aller genannten Substanzen	86,32	

Eine Abschätzung der insgesamt emittierten Styrolmenge z.B. für den Bereich der Schaum- und Textilrückenbeschichtung kann über den folgenden Ansatz erfolgen, wobei erneut eine Abschätzung der oberen Grenze unter „worst-case“-Bedingungen erfolgt.

Bei der Schaumproduktion liegen die Styrolgehalte der Abluft deutlich über denen der Textilrückenproduktion. Sie betragen hier im Schnitt 15% und liegen damit etwa doppelt so hoch wie der in Tabelle 3.4-2 angegebene prozentuale Anteil. Da, wie bereits zuvor berechnet, 491 t der insgesamt 655 t emittierter organischer Komponenten aus den eingesetzten Latices stammen, ergibt sich ein Wert von 73,6 t Styrol, das pro Jahr in die Umgebung emittiert wird.

Dieser Wert kann nun durch eine einfache Kontrolle verifiziert werden. Aus den vorangegangenen Stoffflussanalysen ist bekannt, dass insgesamt 192 kt Latex (trocken) in diesem Bereich zum Einsatz kommen. Der aktuelle Styrolgehalt in

Latices liegt je nach Latextype zwischen 60 und 150 mg/kg (naß), oder 120-300 mg/kg (trocken). Mit 300 mg/kg Latextrockensubstanz und der Latexgesamtmenge von 192 kt/a ergibt sich eine Gesamtstyrolmenge von 57,6 t/a. Es zeigt sich somit, dass die unter „worst-case“-Bedingungen berechnete Menge von 73,6 t/a gut mit den hier berechneten 57,6 t/a übereinstimmt.

Es kann somit davon ausgegangen werden, dass ca. 60 t Styrol pro Jahr bei der Beschichtung von Tuftingartikeln in die Atmosphäre gelangen. Ähnliche Berechnungen lassen sich prinzipiell für alle bekannten Einzelsubstanzen, die in den Emissionen von Beschichtungsanlagen nachgewiesen wurden, durchführen.

3.4.2. *PRODUKTIONSRESTSTOFFE*

Die bei der Herstellung von Teppichen anfallenden Produktionsreststoffe lassen sich in die Abfallarten Farbpasten, Latexschlämme, Garnabfälle, Scherstäube, Schnittkantenabfälle, Konfektionsabfälle, Nahtstreifen, Ausschussware und sonstige Abfälle aufteilen. Der Anteil der Abfälle ist mit ca. 8% -10% bezogen auf die Produktionsmenge relativ gering. In Westeuropa waren es 1995 ca. 150.000 t. Sie sind in Ihrer Materialzusammensetzung dem Teppichbodenhersteller bekannt. Eine Aufteilung der textilen Abfälle bezogen auf ihre Gesamtmenge ergibt rund 14% Garnabfälle, 27% Kantenabfälle, 11% Scherstäube, 45% Konfektionsabfälle sowie 2% sonstige textile Abfälle. Farbpasten fallen in geringen Reststoffmengen an. Sie werden normalerweise als überwachungsbedürftige Abfälle entsorgt. Latexcompounds aus der Beschichtung werden entweder nach einer Reinigung der Anlagen wieder eingesetzt oder nach Ausflockung entsorgt. Mengemäßige Angaben stehen deshalb nicht zur Verfügung.

Von den typischen textilen Reststoffen werden die anfallenden Garnabfälle und Scherstäube bei vielen Unternehmen bereits entsprechend erfasst, gesammelt und verwertet. Die anderen textilen Reststoffe werden im allgemeinen gemischt erfasst und entweder einer Verwertungsanlage zugeführt oder, wie meist üblich, als Abfall entsorgt. Die Verwertungsmöglichkeit von textilen Produktionsabfällen entspricht prinzipiell denen von Altteppichböden. Aus diesem Grunde wird die mögliche Verwertung von textilen Produktionsabfällen in Zusammenhang mit der sich abzeichnenden generellen Entsorgungs- und Verwertungswege für textile Bodenbeläge

dargestellt (siehe Kap. 6).

4. VERLEGUNG UND NUTZUNG TEXTILER BODENBELÄGE

Auch die Nutzungsphase von Teppichböden und Nadelvlies-Bodenbelägen ist von Emissionen begleitet. Dabei handelt es sich zum einen um die Ausdünstungen der Produkte nach ihrem Auslegen. Zum anderen kommen flüchtige organische Verbindungen aus den Verlegewerkstoffen hinzu, insbesondere Fixier- und Klebstoffe, sofern die Textilbeläge nicht lose ausgelegt werden. Darüber hinaus spielt der Eintrag von Reinigungschemikalien während des Gebrauchs eine Rolle. Zur Pflege und Reinigung gehören neben der trockenmechanischen Reinigung durch Staub- und Bürstsaugen die heute üblichen Feucht- und Nassreinigungsverfahren.

4.1. EMISSIONEN AUS TEXTILEN BODENBELÄGEN

Die nachfolgenden Tabelle 4.1-1 bis Tabelle 4.1-5 enthalten aktuelle Analyseergebnisse, die bei der Emissionsprüfung in den Prüfkammern des TFI erhalten wurden. Aus den dort ermittelten Daten wurden, bezogen auf die wichtigsten Grundtypen textiler Bodenbeläge, mittlere Emissionsraten errechnet, die als Basis für die Berechnung der maximal emittierbaren Menge organischer Substanzen pro m² textilen Bodenbelages dienen. Gleichzeitig geben die Tabellen einen Überblick über Art und Menge der emittierten Einzelstoffe.

Tabelle 4.1-1: Prüfkammerkonzentrationen und Emissionen (1997) von Bodenbelägen mit Textilrücken zeitnah zur Produktion ermittelt durch Prüfkammermessung des TFI *

	TB 1	TB 2	TB 3	TB 4	TB 5	Mittelw.	Mittelw.
Komponenten	[µg/m³]						[µg m ⁻² h ⁻¹]
Toluol	5,2	9,0	9,5	10,4	5,8	8,0	10,0
Ethylbenzol	1,3	1,7	1,2	1,7	1,5	1,5	1,8
Summe Xylole	4,1	8,1	4,1	7,8	6,6	6,1	7,7
Styrol	1,9	1,4	3,1	1,2	-	1,9	2,3
Summe Ethyltoluole und Trimethylbenzole	1,5	2,4	3,5	4,5	1,4	2,7	3,3
Benzylalkohol	-	-	-	-	15,3	15,3	19,1
Benzylaldehyd	2,4	1,2	3,6	-	-	2,4	3,0
4-Phenylcyclohexen	15,3	16,2	13,3	4,1	9,9	11,8	14,7
2,2,6,6-Tetramethyl-4-methylen-heptan	-	-	2,1	2,2	-	2,2	2,7
2,2,4,6,6-Pentamethyl-3-hepten / 2-Ethylhexanol	-	-	22,9	8,3	-	15,6	19,4
Butylacetat	-	-	-	1,5	-	1,5	1,9
Tetrachlorethen	-	-	-	1,5	-	1,5	1,9
alpha Pinen	-	1,0	-	-	-	1,0	1,3
Methylisobutylketon	-	0,7	-	-	-	0,7	0,9
2-Ethylhexanol	9,5	3,0	-	-	1,7	4,7	5,9
l-Limonen	2,6	-	2,8	1,8	-	2,4	3,0
Butoxyethoxyethanol	-	-	-	-	3,4	3,4	4,3
Cyclohexanol	7,8	2,0	-	2,7	1,6	3,5	4,4
Dodecen	1,1	-	-	-	-	1,1	1,4
Essigsäurebutylester	0,7	1,1	-	-	-	0,9	1,2
Propylenglycol	-	18,4	-	-	-	18,4	23,0
Methylpropensäuremethylester	2,6	1,7	-	-	2,0	2,1	2,6
Summe alkyl. Cyclohexane	-	0,5	-	-	-	0,5	0,6
Hexan	9,5	11,0	-	-	4,6	8,4	10,5
Heptan	2,2	4,6	-	-	1,8	2,9	3,6
Nonan	1,7	1,1	-	-	-	1,4	1,7
Undekan	1,7	0,9	1,5	-	-	1,4	1,7
Dodekan	1,1	0,9	-	-	1,4	1,1	1,4
Dodekan und Benzothiazol	-	-	1,1	1,0	-	1,1	1,3
Tridekan	-	1,0	-	-	-	1,0	1,3
Tetradekan	-	1,4	-	1,1	1,0	1,2	1,5
Acetophenon	-	1,0	17,5	-	2,5	7,0	8,7
Summe alkylierte Phthalate	-	-	-	-	3,4	3,4	4,3
Summe anderer alkyl. KW	4,7	13,7	-	-	-	9,2	11,5
nicht identif. Komponenten	-	2,4	-	-	-	2,4	3,0
Summe Aromaten	33,3	42,4	58,1	34,1	48,5	43,3	54,1
Summe aller Komponenten	75,1	108,8	108,3	88,2	67,1	89,5	111,9

* zeitnah zur Produktion bedeutet, dass produktionsfrische Warenproben verpackt und ans TFI gesendet werden.

Tabelle 4.1-2: Prüfkammerkonzentrationen und Emissionen (1997) von Bodenbelägen mit Schaumrücken zeitnah zur Produktion ermittelt durch Prüfkammermessung des TFI *

	TB 1	TB 2	TB 3	TB 4	TB 5	Mittelw.	Mittelw.
Komponenten	[µg / m ³]					[µg m ⁻² h ⁻¹]	
Toluol	2,2	7,5	6,1	9,2	6,0	6,2	7,8
Ethylbenzol	-	1,7	1,3	2,4	1,2	1,7	2,1
Summe Xylole	2,8	6,3	3,9	6,6	-	4,9	6,1
Styrol	-	-	1,0	-	-	1,0	1,3
Cumol	-	-	-	1,1	0,3	0,7	0,9
Propylbenzol	-	1,3	1,0	3,0	-	1,8	2,2
Summe Ethyltoluole und Trimethylbenzole	3,7	3,7	1,6	3,8	1,4	2,8	3,6
Summe Tetramethylbenzole	2,6	1,6	-	2,1	-	2,1	2,6
Benzylaldehyd	-	1,2	1,2	3,1	-	1,8	2,3
4-Phenylcyclohexen	2,1	5,8	12,0	4,7	14,4	7,8	9,8
2,2,6,6-Tetramethyl-4-methylen-heptan	-	2,4	-	5,5	3,2	3,7	4,6
2,2,4,6,6-Pentamethyl-3-hepten / 2-Ethylhexanol	10,7	7,8	7,8	26,6	5,1	11,6	14,5
Summe Glycole	2,4	-	2,3	1,4	1,6	1,9	2,4
Butylacetat	-	1,5	1,1	1,5	1,2	1,3	1,7
Hexanal	-	-	-	1,1	1,2	1,2	1,4
Tetrachlorethen	-	-	-	1,9	-	1,9	2,4
alpha Pinen	-	-	-	1,4	-	1,4	1,8
l-Limonen	2,3	2,0	2,5	2,4	1,7	2,2	2,7
Cyclohexanol	-	1,9	2,5	-	-	2,2	2,8
Nonan	-	-	-	1,4	-	1,4	1,8
Undekan	1,7	1,0	2,1	2,4	1,7	1,8	2,2
Tridekan	-	-	-	1,4	-	1,4	1,8
Tetradekan	-	1,1	1,1	1,3	2,0	1,4	1,7
Summe Aromaten	18,4	30,2	32,0	40,1	34,9	31,1	38,9
Summe aller Komponenten	65,8	75,2	83,2	105,7	87,7	83,5	104,4

* zeitnah zur Produktion bedeutet, dass produktionsfrische Warenproben verpackt und ans TFI gesendet werden.

Tabelle 4.1-3: Prüfkammerkonzentrationen und Emissionen (1997) von Nadelvliesbelägen zeitnah zur Produktion ermittelt durch Prüfkammermessung des TFI *							
	TB 1	TB 2	TB 3	TB 4	TB 5	Mittelw.	Mittelw.
Komponenten	[µg / m ³]					[µg m ⁻² h ⁻¹]	
Toluol	9,8	8,8	7,9	4,3	4,4	7,0	8,8
Ethylbenzol	2,2	2,3	1,8	1,4	-	1,9	2,4
Summe Xylole	6,9	8,8	6,8	5,1	2,6	6,0	7,6
Propylbenzol	-	-	-	1,1	-	1,1	1,4s
Summe Ethyltoluole und Trimethylbenzole	1,8	1,5	1,5	1,4	3,0	1,8	2,3
Benzylaldehyd	1,5	1,3	2,7	1,3	-	1,7	2,1
4-Phenylcyclohexen	9,5	15,5	6,2	37,0	11,1	15,9	19,8
2,2,6,6-Tetramethyl-4-methylen-heptan	3,0	-	-	2,0	3,4	2,8	3,5
2,2,4,6,6-Pentamethyl-3-hepten / 2-Ethylhexanol	10,9	13,5	50,3	59,8	3,5	27,6	34,5
Butylacetat	1,7	1,5	1,7	1,3	1,5	1,5	1,9
alpha Pinen	1,1	-	-	-	1,2	1,2	1,4
l-Limonen	2,4	2,3	1,0	1,3	1,3	1,7	2,1
Nonan	-	-	-	-	2,3	2,3	2,9
Undekan	1,8	-	1,1	1,1	4,5	2,1	2,7
Dodekan	-	-	-	-	10,0	10,0	12,5
Dodekan und Benzothiazol	1,3	-	-	-	-	1,3	1,6
Tridekan	-	-	-	-	4,1	4,1	5,1
Tetradekan	2,0	-	1,4	1,4	2,9	1,9	2,4
Summe Aromaten	35,6	41,9	26,2	55,6	28,2	37,5	46,9
Summe aller Komponenten	80,2	164	93,5	125	123,8	117,2	146,5

* zeitnah zur Produktion bedeutet, dass produktionsfrische Warenproben verpackt und ans TFI gesendet werden.

Tabelle 4.1-4: Prüfkammerkonzentrationen und Emissionen (1997) von Webwaren zeitnah zur Produktion ermittelt durch Prüfkammermessung des TFI *

	TB 1	TB 2	TB 3	TB 4	TB 5	Mittelw.	Mittelw.
Komponenten	[µg / m³]					[µg m ⁻² h ⁻¹]	
Toluol	10,8	4,3	7,8	4,0	7,8	6,9	8,7
Ethylbenzol	5,4	1,3	2,6	1,2	3,0	2,7	3,4
Summe Xylole	9,9	5,2	10,8	5,0	-	7,7	9,7
Summe Xylole und Buthoxyethanol	-	-	-	-	11,7	11,7	14,6
Styrol	1,7	1,2	-	-	2,4	1,8	2,2
Cumol	-	-	-	-	2,0	2,0	2,5
Propylbenzol	-	-	-	1,1	2,7	1,9	2,4
Summe Ethyltoluole und Trimethylbenzole	7,3	-	2,6	2,5	4,7	4,3	5,3
Summe Tetramethylbenzole	-	-	5,8	-	9,5	7,7	9,6
Benzylalkohol	-	-	1,3	-	3,5	2,4	3,0
Benzylaldehyd	2,5	3,2	1,1	1,8	1,9	2,1	2,6
Acetophenon	-	-	-	-	10,9	10,9	13,6
4-Phenylcyclohexen	4,5	4,0	14,4	11,0	11,3	9,0	11,3
2,2,6,6-Tetramethyl-4-methylen-heptan	1,2	-	-	-	2,8	2,0	2,5
2,2,4,6,6-Pentamethyl-3-hepten / 2-Ethylhexanol	15,8	2,7	11,8	6,5	132,2	33,8	42,3
Butylacetat	-	1,6	2,1	1,3	-	1,7	2,1
Hexanal	-	-	1,2	-	-	1,2	1,5
Longifolen	-	-	1,9	-	1,8	1,9	2,3
alpha Pinen	-	-	1,0	-	1,7	1,4	1,7
l-Limonen	6,6	-	2,0	1,5	2,4	3,1	3,9
Phenylacethylen	-	-	1,1	-	-	1,1	1,4
Butylglycolacetat	-	-	1,5	-	5,9	3,7	4,6
Hexanal	-	-	-	-	2,0	2,0	2,5
Phenoxyethanol	-	-	1,4	-	-	1,4	1,8
Cyclohexanol	-	1,1	-	2,5	-	1,8	2,2
Dekan	-	8,2	-	-	-	8,2	10,2
Undekan	1,2	-	4,1	4,9	2,7	3,2	4,0
Dodekan	1,5	-	3,3	3,8	1,7	2,6	3,2
Tridekan	-	-	2,4	3,0	1,8	2,4	3,0
Tetradekan	2,4	-	4,1	6,9	10,8	6,0	7,6
Pentadekan	-	-	5,3	11,9	9,7	9,0	11,2
Summe Aromaten	49,1	20,1	51,9	34,6	73,3	45,8	57,2
Summe aller Komponenten	125,7	58,0	199,4	110,4	283,3	155,4	194,2

* zeitnah zur Produktion bedeutet, dass produktionsfrische Warenproben verpackt und ans TFI gesendet werden.

Tabelle 4.1-5: Mittlere Emissionsraten verschiedener Textilbelagskonstruktionen				
	Schaum	Textilrücken	Nadelvlies	Webwaren
	[µg/m ² h]			
Summe aller Komponenten	104,4	111,9	146,5	194,2
nach m ² gewichtete mittlere Emissionsrate für einen beliebigen textilen Bodenbelag	128			

Die mittleren Emissionsraten für die Summe aller detektierten Komponenten ergeben gewichtet eine durchschnittliche Emissionsrate von 128 µg/m²h. Dieser Wert entspricht der Menge organischer Verbindungen, die von einem produktionsfrischen Teppichboden zum Zeitpunkt der Probenahme (nach 20 h) in die Prüfkammer emittiert werden.

Dieser Wert spiegelt aber nur eine Momentaufnahme wieder. Es ist jedoch von Interesse, eine Aussage über die Gesamtmenge der Substanzen zu erhalten, die in den Innenraum abgegeben werden können. Eine solche Aussage kann nur dann getroffen werden, wenn die gesamte Abklingkurve für die Summe der emittierten Komponenten bekannt ist. Zur Zeit gibt es jedoch nur Untersuchungen an einigen wenigen Einzelsubstanzen zur Ermittlung der jeweiligen Abklingkurven (siehe EMPA-Bericht „Schadstoffemissionsverhalten von Baustoffen“, 1995, Zellweger, Hill, Gehrig und Hofer sowie eigene Untersuchungen des TFI - bisher unveröffentlicht). Ebenso wie die Art der Substanz das Abklingverhalten beeinflusst, spielt auch die Beschaffenheit und Zusammensetzung des textilen Bodenbelages eine entscheidende Rolle. Ein Nadelvlies wird sich anders verhalten als ein Tuftingartikel oder eine Webware. Die Dichte des Polmaterials ebenso wie seine Beschaffenheit (z.B. Hohlfaser oder Filamentgarn) oder die Art der Rückenausrüstung haben einen nicht unerheblichen Einfluss auf die Form der Abklingkurve und den Zeitpunkt, an dem die messbaren Emissionen gegen Null gehen.

Um nun dennoch eine Abschätzung verbleibender Emissionen nach der Produktion durchführen zu können, wird die folgende Vereinfachung angenommen:

Die Abklingkurve nähert sich dem Nullpunkt nicht asymptotisch, sondern linear. Der Nullpunkt ist nach 300 Tagen erreicht (im EMPA-Bericht wird bereits nach maximal 2400 h also 100 Tagen der Nullpunkt erreicht).

Die Berechnung der emittierten Menge organischer Substanzen erfolgt unter der obigen Annahme nach folgender Formel:

$$\frac{E \left[\frac{\mu\text{g}}{\text{m}^2 \text{h}} \right] * t \left[\text{h} \right]}{2} = x \left[\frac{\mu\text{g}}{\text{m}^2} \right]$$

mit: E = Emissionsrate ; t = Zeit; x = emittierte Gesamtmenge

Dabei ist dieser Wert als „worst-case“-Abschätzung zu verstehen, denn sowohl im Hinblick auf die 7200 h als auch auf die zuviel berechnete Fläche, die bei der Annahme einer linearen Abnahme der Emissionsrate in Kauf genommen wird (siehe Abbildung 4.1-2), ist die tatsächliche Menge emittierter organischer Verbindungen niedriger einzuschätzen. Für die betrachteten Endpunkte von 7200 h bzw. 2400 h ergeben sich Werte von 460,8 mg/m² bzw. 153,6 mg/m². Der tatsächlich zu erwartende Wert wird zwischen diesen Grenzen liegen. Um dies für die Nutzungsphase und die Raumluftbelastung von Innenräumen anschaulich zu machen, wird ein Beispiel gegeben.

Mit der Annahme einer mittleren Wohnungsgröße von 100 m², bei der 60% der Fläche mit Teppichboden ausgelegt ist, bedeutet dies nach 300 Tagen (7200 h) eine Gesamtemission an organischen Verbindungen von 27,6 g. Werden die 100 Tage (2400 h) aus dem EMPA-Bericht zugrunde gelegt, so ergibt sich ein Wert von 9,2 g.

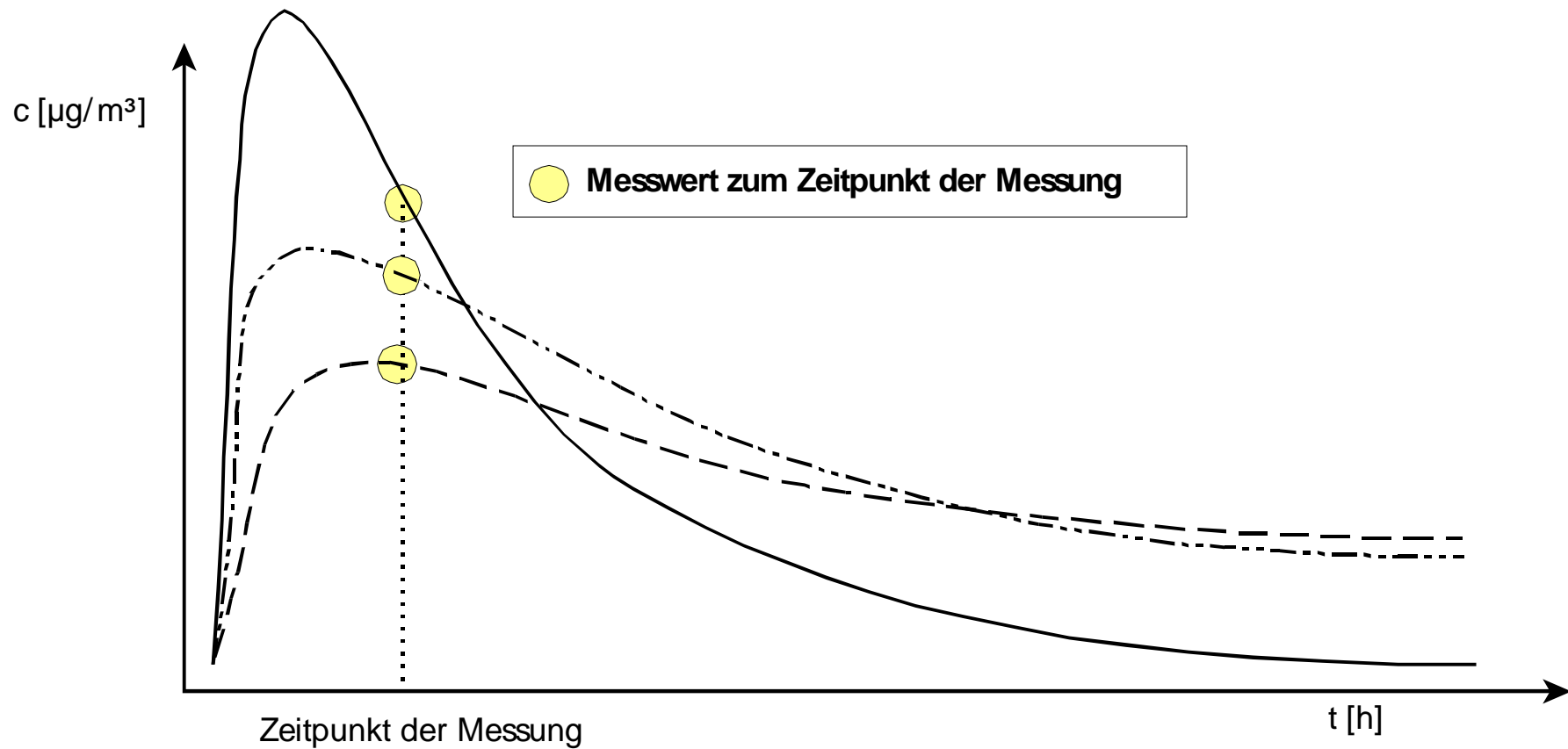


Abbildung 4.1-1: Schematischer Konzentrationsverlauf von verschiedenen Einzelsubstanzen in Prüfkammern. Die einzelnen Substanzen haben nicht dieselbe Emissionsstärke und dasselbe Abklingverhalten.

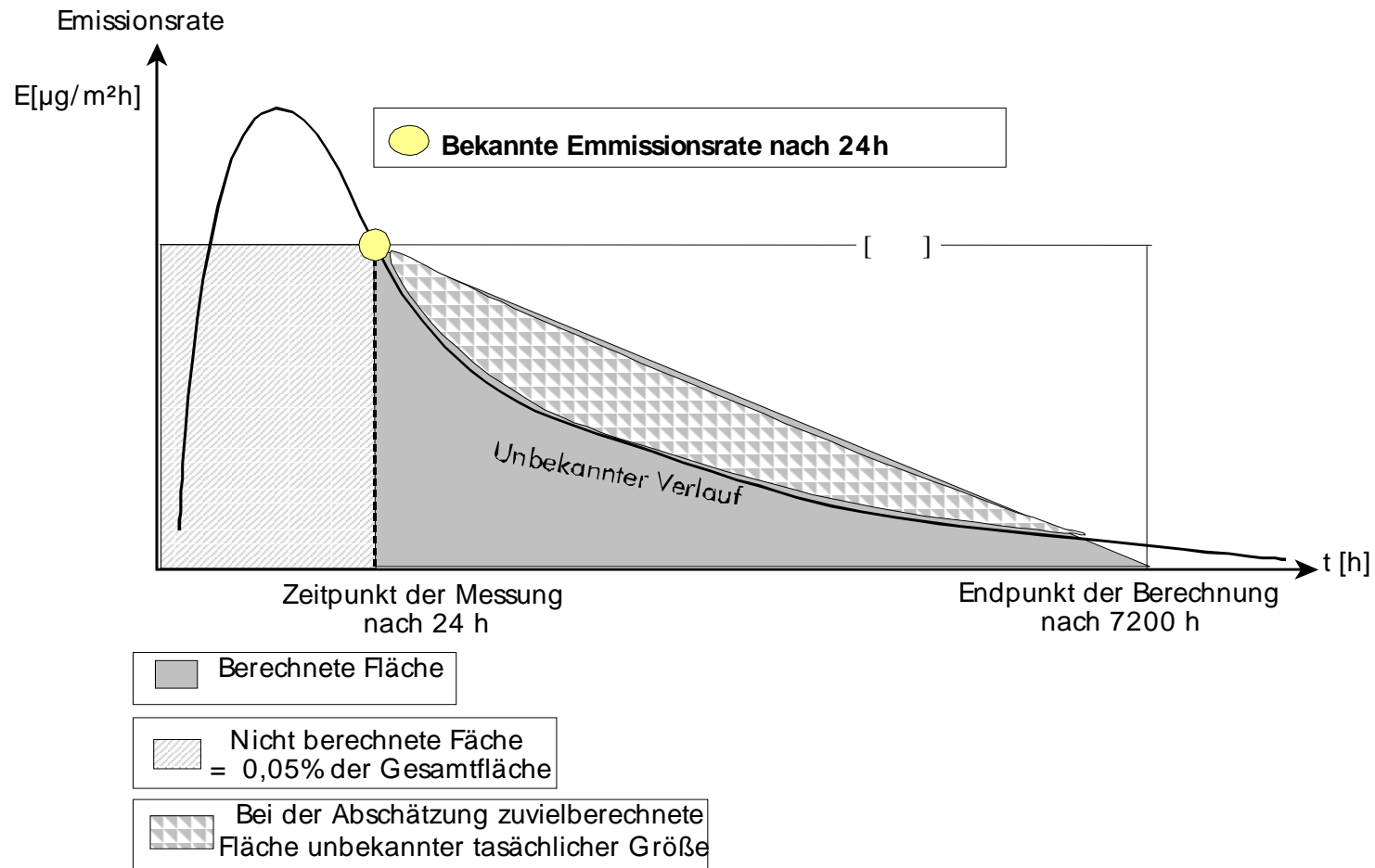


Abbildung 4.1-2: Graphische Darstellung der berechneten und abgeschätzten Emissionsmengen organischer Komponenten aus produktionsfrischen textilen Bodenbelägen

4.2. VERLEGUNG TEXTILER BODENBELÄGE

Entsprechend der vorgesehenen Nutzung, der Teppichkonstruktion und der örtlichen Gegebenheiten werden Textilbeläge unterschiedlich verlegt. Bei einer gewerblichen Nutzung mit einer Stuhlrolleneignung wird der Belag in der Regel unter Verwendung eines Klebstoffs fest mit dem Untergrund verbunden. Im Privatbereich werden die Textilbeläge nur zum Teil so verarbeitet. Dort werden Verlegemethoden bevorzugt, die entweder weniger aufwendig sind, z.B. das lose Auslegen mit einer Randbefestigung durch doppelseitiges Klebeband, oder Methoden, die eine im Hinblick auf den Untergrund zerstörungsfreie Wiederaufnahme erlauben. Hierzu zählen alle Arten der Fixierung bis hin zum Verspannen auf Nagelleisten oder Klettband. Darüber hinaus erfordern Webwaren, Nadelvlies-Bodenbeläge und zum großen Teil auch Tuftingwaren mit einem Textilrücken eine Verklebung im Haushalts- und Objektbereich, um ausreichend dimensionsstabil gegenüber nutzungs- und reinigungsbedingten Einwirkungen zu sein.

4.2.1. EMISSIONEN AUS KLEBSTOFFEN

In Deutschland werden etwa 120 Mio. m² textiler Bodenbeläge geklebt verarbeitet. Hiervon entfallen etwa 75 Mio. m² auf den Objektbereich, in dem die Textilbeläge fast ausschließlich geklebt verarbeitet werden, und etwa 45 Mio. m² auf den privaten Bereich. Hier liegen Teppichböden überwiegend lose bzw. sind nach alternativen Methoden verlegt.

Zum Kleben von Teppichböden und Nadelvlies-Bodenbelägen werden heute wasserbasierte Dispersionsklebstoffe verwendet (GISCODE D1). Hierbei handelt es sich zu drei Viertel um sehr emissionsarme Produkte, die zusätzlich nach dem EMICODE mit EC 1 gekennzeichnet sein können und praktisch lösemittelfrei sind. Das verbleibende Viertel besteht aus nach TRGS 610 ebenfalls lösemittelfreien Klebstoffen, die bis zu 5 % hochsiedende Lösemittel ($\geq 200^{\circ}\text{C}$) enthalten, z.B. Phenoxyethanol, Butyldiglykolacetat.

Die Dispersionsklebstoffe der verschiedenen Hersteller sind ähnlich zusammengesetzt und bestehen im wesentlichen aus folgenden Bestandteilen:

- Klebe- und Bindemittel: ca. 40 %
 - Natürliche Harze Synthetische Harze
 - Naturharze Kohlenwasserstoffharze
 - Vorwiegend Kolophonium und z.T. auch Acrylate
 - verestertes Kolophonium (Harzsäureester)
- Füllstoff: ca. 40 %
(fast ausschließlich Kreide)
- Organische Lösemittel: 0 bis 5 %
- Wasser: 15 bis 20 %

Der Klebstoffauftrag für derartige Dispersionsklebstoffe liegt heute bei etwa 350 bis 400 g/m². Hieraus errechnet sich nach den vorstehenden Angaben ein Verbrauch von 40.000 bis 48.000 t Klebstoff, so dass ein mittlerer Wert von 45.000 t für die weiteren Berechnungen angenommen werden kann. Von dieser Menge enthält 1/4 bis zu 5 % hochsiedende Lösemittel, maximal also 562,5 t.

Kunstharz-Lösemittelklebstoffe und lösemittelarme Dispersionsklebstoffe (bis zu 5 % niedrig-siedende Lösemittel) haben heute für die Verlegung von Textilbelägen keine Bedeutung mehr. Eine Ausnahme bilden lediglich füllstofffreie Neoprene - Klebstoffe, in denen das Polymer gelöst ist, die nur noch vereinzelt zum Kleben auf Treppen und an senkrechten Flächen verwendet werden. Ihr Anteil liegt nach Schätzungen bei 1 % Gesamtklebstoffverbrauch. Bei einem Lösemittelgehalt von 20 % tragen sie mit rund 90 t an weiteren Emissionen bei. Die gesamten Lösemittelmmissionen aus Textilbelangs-Klebstoffen errechnen sich somit zu etwa 650 t/a.

4.2.2. *UNTERSUCHUNGEN AN GEKLEBT VERLEGTE TEXTILEN BODENBELÄGEN*

Eine Untersuchung von geklebt verlegten textilen Belägen im Hinblick auf die zu erwartenden Emissionen an flüchtigen organischen Verbindungen wurde im Rahmen einer Forschungsarbeit des TFI durchgeführt. Dabei war ein Schwerpunkt der durchgeführten Untersuchungen, die zu erwartenden Auswirkungen der Klebstoffe auf den Stoffeintrag in realen Räumen zu erkunden. Im Neubauvorhaben des TFI wurden deshalb in verschiedenen Büroräumen Tuftingbeläge mit Textilrücken mit

unterschiedlichen Klebstoffen ganzflächig geklebt verarbeitet und das Emissionsverhalten über längere Zeiträume untersucht.

Wie bereits in Kap. 4.2.1 ausgeführt, enthalten Dispersionsklebstoffe entsprechend ihres Aufbaus eine Reihe von Rohstoffen oder Hilfsmitteln, die zur Emission von flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) beitragen. In der nachfolgenden Tabelle sind entsprechende Stoffe und Stoffklassen beispielhaft aufgeführt:

	Substanzen	Herkunft
Terpene	Pinene Limonen Caren Longifolen Isolongifolen	Kolophoniumharze
Phenoxyverbindungen	Phenoxyethanol Phenoxypropanol	Weichmacher
Glycolether	Butyldiglycol Butyldiglycolacetat	Weichharze und Lösungsvermittler
Alkohole	2-Ethylhexanol	Emulgatoren und Entschäumer
Ester	Acrylsäureester	Acrylharze

Je nach der Zusammensetzung der einzelnen Klebstoffe kann es deshalb zu einem unterschiedlichen Stoffeintrag während der Nutzungsphase in die Raumluft kommen. Bei der überwiegenden Anzahl von flüchtigen organischen Verbindungen, die aus textilen Belägen sowie aus Klebstoffen emittiert werden, handelt es sich um die sog. VOC, d.h. um flüchtige organische Verbindungen mit einem Siedebereich bis zu 250 °C – 260 °C.

Die in Innenräumen anzutreffenden organischen Verbindungen werden häufig nach dem in der nachfolgenden Tabelle aufgeführten System über die Siedepunkte klassifiziert.

Tabelle 4.2-2: Klassifizierung von organischen Verbindungen in der Innenraumluft		
Gruppenbezeichnung	Abkürzung	Siedepunktsbereich [°C]
Very volatile organic compounds	VVOC	<0 bis 100
Volatile organic compounds	VOC	50 bis 260
Semivolatile organic compounds	SVOC	240 bis 400
Organic compounds associated with particulate matter or particulate organic matter	POM	> 380

Diese Definition der organischen Verbindungen über die Siedepunkte hat sich bei der Bewertung von Innenraumluftsituationen als sehr hilfreich erwiesen, da hiermit eine eindeutige Klassifizierung von festgestellten Substanzen möglich ist. Diese Einteilung ermöglicht zudem eine Auswahl der zur Bestimmung von organischen Verbindungen einsetzbaren Anreicherungs- und Analysenverfahren.

In der Abbildung 4.2-1 ist ein typischer Emissionsverlauf nach dem Auslegen eines Raumes mit einem textilen Belag dargestellt.

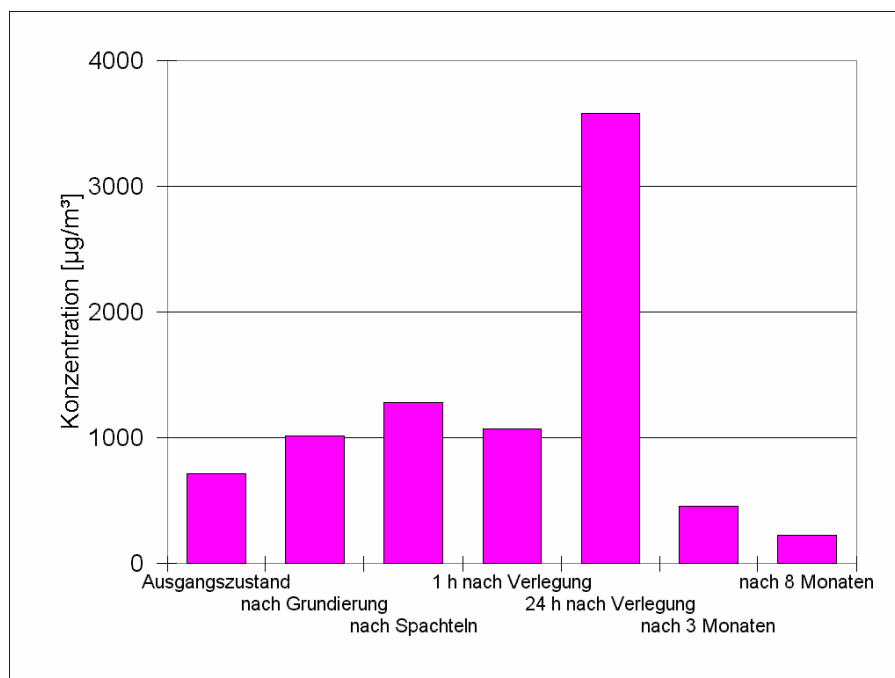


Abbildung 4.2-1: Typischer Konzentrationsverlauf vor und nach der Verklebung eines textilen Belages mit sehr emissionsarmem, hochsiederfreiem Klebstoff

Dieser Verlauf der Emissionen macht deutlich, dass bereits im Rohbauzustand eine Emission an VOC vorhanden ist. Dies ist überwiegend auf den diffusen Eintrag während der Bauphase und die Baumaterialien zurückzuführen. Die Vorbereitung des Untergrundes für die Verlegung des textilen Belages - Grundierung und Spachtelung – bewirkt erfahrungsgemäß nur einen geringen Anstieg der Emissionen an flüchtigen Verbindungen. Innerhalb der ersten 24 h nach dem Verlegen kommt es zu einem deutlichen Anstieg der VOC-Emissionen, die während der Nutzungsphase innerhalb von 3 Monaten auf Werte unterhalb des Bauausgangszustandes absinken. Nach einem Zeitraum von 8 Monaten sind bereits TVOC-Konzentrationen deutlich unter 300 µg/m³ (*Seifert'scher Zielwert) erreicht.

Durch die Zusammensetzung der Klebstoffe, d.h. durch den Gehalt an Terpenen und vor allem an sogenannte hochsiedenden Verbindungen wie Glykolen oder Phenoxyethanol ist häufig während eines längeren Emissionszeitraums eine Veränderung in der Zusammensetzung der flüchtigen organischen Verbindungen zu beobachten.

In der Abbildung 4.2-2 ist ein typischer Emissionsverlauf eines Klebstoffs dargestellt, der neben Terpenen einen geringen Anteil an hochsiedenden Verbindungen enthält.

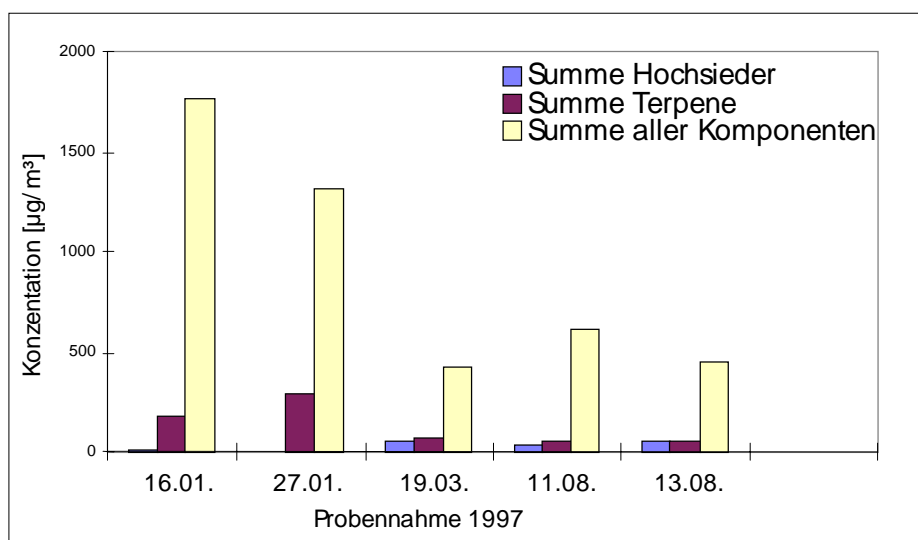


Abbildung 4.2-2: Beobachtete Konzentrationen in einem Büroraum nach Verlegung eines textilen Bodenbelags mit einem kolophoniumhaltigem Klebstoff

In diesem Büroraum ist nach einer anfänglich hohen allgemeinen Belastung, verbunden mit einem relativ hohen Beitrag der Terpene zur Gesamtemission, ein starker Rückgang der Emission an flüchtigen Verbindungen innerhalb der ersten drei Monate

festzustellen. Darüber hinaus ist nach 2 Monaten ein Zustand erreicht, der bis zum Ende des Messzeitraums keine grundlegende Änderung mehr erfährt. Die Gesamtkonzentration an flüchtigen organischen Verbindungen beträgt ca. 300-500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, der Anteil der Terpene liegt konstant bei etwa 10 % der Gesamtemission. Die hochsiedenden Glykolverbindungen werden erst verzögert freigesetzt. Diese Komponenten finden sich erst nach einem Zeitraum von 2 Monaten in der Raumluft und verbleiben ebenfalls nahezu konstant bis zum Ende der Untersuchung. Diese verzögerte Freisetzung von hochsiedenden Verbindungen, wie z.B. Phenoxyethanol ist in einem weiteren Praxisbeispiel in Abbildung 4.2-3 anschaulich dargestellt.

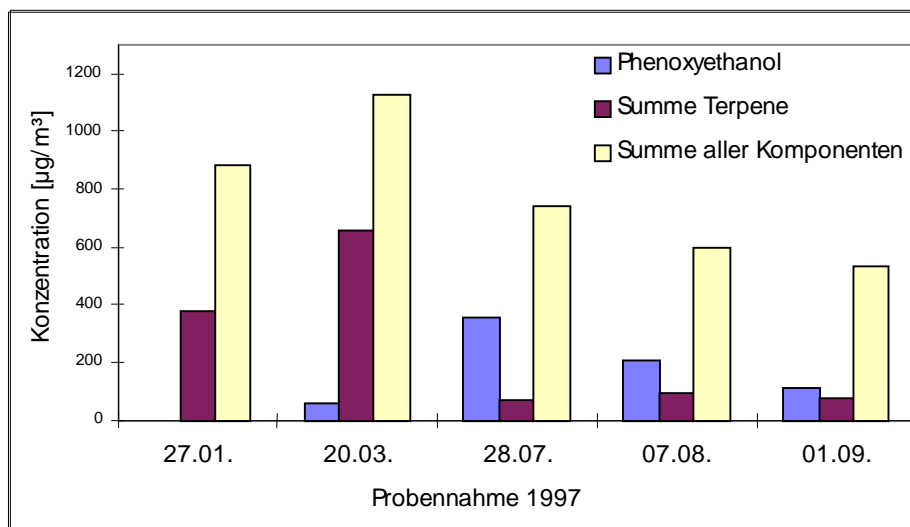


Abbildung 4.2-3: Beobachtete Konzentrationen in einem Büroraum nach Verlegen eines textilen Belages mit einem verstärkt hochsiederkaltigen Klebstoff

Das Emissionsmuster zeigt deutlich die zeitliche Verzögerung der Emissionen, die bei diesem Klebstoff aufgetreten ist. Der Emissionsverlauf mit einem verspäteten Maximum ist auch in Laborversuchen zu beobachten gewesen. Bei diesem Beispiel ist anzumerken, dass neben den hohen Anfangskonzentrationen an Terpenen insbesondere der hohe Gehalt an Phenoxyethanol zu einer hohen Raumluftbelastung führt.

Die in diesen Praxisuntersuchungen vorgestellten Ergebnisse stimmen weitgehend mit denen aus Laborversuchen überein. Die hochsiedenden Verbindungen zeigen ein stark verzögertes Emissionsverhalten und führen zu langanhaltenden Emissionen aus dem Bodenaufbau. Damit stellen diese Verbindungen mögliche Quellen für Langzeitbelastungen in Innenräumen dar.

Diese Erkenntnisse haben die Teppichboden- und Klebstoffindustrie veranlasst, eine weitgehend an die Emissionsprüfung für textile Bodenbeläge angelehnte Prüfmethode und ein Klassifizierungssystem für emissionskontrollierte Textilbelagsklebstoffe zu erarbeiten. Produkte, die nach diesem Schema die Kennzeichnung „sehr emissionsarm“ erreichen, können nur unter Verzicht auf hochsiedende Lösemittel hergestellt werden. Auf breiter Basis sind seit 1997 sehr emissionsarme, den Anforderungen der Verlegetechnik entsprechende Produkte, verfügbar. Nach einer anfänglich zurückhaltenden Verwendung emissionsarmer Textilbelagsklebstoffe hat sich die Klassifizierung bewährt und zu einer entsprechenden Kennzeichnung weiterer emissionskontrollierter Verlegewerkstoffe (Bauklebstoffe generell, Grundierungen, Spachtelmassen, Verlegeunterlagen) geführt.

4.3. PFLEGE UND REINIGUNG TEXTILER BODENBELÄGE

In der Bundesrepublik wurden in den zurückliegenden Jahren bis zu 300 Mio. m² Textilbeläge jährlich verlegt. Davon entfallen etwa drei Viertel auf den privaten Bereich, etwa ein Viertel auf den Objektbereich. Geht man von einer durchschnittlichen Liegedauer von 10 Jahren aus, so dürfte die mit Textilbelägen bedeckte Fläche ungefähr 3 Mrd. m² betragen. Legt man die oben erwähnte Aufteilung zugrunde, umfasst der Privatbereich ca. 2,25 Mrd. m² und der Objektbereich ca. 0,75 Mrd. m². Diese Unterscheidung ist insofern bedeutsam, weil die Reinigungsgewohnheiten für die beiden Bereiche erfahrungsgemäß sehr unterschiedlich sind.

Insgesamt ist es sehr schwierig, die jeweils durchgeführten Reinigungsarten und Intervalle verallgemeinernd anzugeben. Dennoch kann davon ausgegangen werden, dass die Textilbeläge im Haushaltsbereich durchschnittlich wöchentlich gesaugt werden, während dies im Objektbereich üblicherweise an 5 Tagen in der Woche geschieht. Gelegentlich ist mit diesen Arbeiten eine Fleckbehandlung verbunden.

Feuchtreinigungen, d.h. Pulver- und Padreinigungen, sowie Nassreinigungen (Sprühextraktion, Shampooierung und eine Kombination dieser beiden Verfahren) werden gleichermaßen im Privat- und Objektbereich durchgeführt, wobei sich jedoch die jeweils eingesetzten Reinigungsgeräte (Haushaltsgeräte, semiprofessionelle Leihgeräte und Profi-Geräte) in Größe und Leistungsfähigkeit unterscheiden. Obgleich hinsichtlich der Reinigungshäufigkeit keine Zahlen vorliegen, ist

anzunehmen, dass Textilbeläge im privaten Bereich innerhalb von drei Jahren einmal feucht oder nass gereinigt werden, während dies im Objektbereich 1 bis 2 mal pro Jahr erfolgt, wobei die verschiedenen eingesetzten Reinigungsarten nur schwer anteilmäßig gegeneinander abzugrenzen sind. Vorwiegend wird heute nach dem Sprühextraktionsverfahren gereinigt.

Alle Reinigungsverfahren sind mit einem Eintrag von Reinigungschemikalien verbunden, die sich wiederum je nach Reinigungstyp hinsichtlich Art und Menge ganz wesentlich unterscheiden. Grundsätzlich müssen die zur Textilbelagsreinigung verwendeten Produkte den bestehenden gesetzlichen Anforderungen entsprechen und auch biologisch abbaubar sein.

Bei dem Pulver-, Pad- und Shampooierverfahren verbleibt ein wesentlicher Teil der Wirkstoffe und Hilfsmittel nach der Reinigung auf dem Belag. Bei dem Sprühextraktionsverfahren wird der überwiegende Teil der Reinigungsmittellösung aufgesaugt und zusammen mit dem mitgeführten Schmutz herkömmlich über das Kanalnetz entsorgt. Feststoffkonzentrationen der Nassreinigungsmittellösungen liegen etwa zwischen 0,5 und 1 %, was zu Reinigungsmittelrückständen zwischen ca. 1 und 5 g/m² bei einer einmaligen Reinigung des Textilbelages führt. Ein Teil davon wird durch die nachfolgende Begehung noch abgetragen; die verbleibenden Anteile werden mit dem Belag bei seiner Wiederaufnahme entsorgt.

Emissionen von flüchtigen organischen Verbindungen im Zusammenhang mit der Pflege und Reinigung von Textilbelägen sind nach aller Erfahrung gering. Ausgenommen hiervon sind die häufig den Reinigungsmitteln zugesetzten Duftstoffe zur Erzielung eines Frischegeruchs. Andersartige Geruchsbildungen sind eher die Ausnahme. Dementsprechend dürften auch wenig Erkenntnisse und Messungen hinsichtlich in Frage kommender Emissionen vorliegen. Niedrig siedende Lösemittel werden heute in den wasserbasierten flüssigen Pulverreinigungs-, Sprühextraktions- und Shampooiermitteln üblicherweise nicht verwendet.

Vor diesem Hintergrund erscheint es unmöglich, ohne umfangreiche Recherchen in allen genannten Punkten die tatsächlichen Stoffflüsse in der Textilbelagsreinigung zu erfassen und eine fundierte Stoffbilanz zu erstellen. Da dieses Ziel ohne einen erheblichen zeitlichen und finanziellen Aufwand nicht zu erreichen ist, wurde nach Absprache in dem Ausschuss auf eine nähere Betrachtung der pflege- und reinigungsbedingten Emissionen bei textilen Bodenbelägen verzichtet.

5. EMISSIONEN FLÜCHTIGER ORGANISCHER VERBINDUNGEN AUS TEXTILEN BODENBELÄGEN IN DIE INNENRAUMLUFT UND IHRE TOXIKOLOGISCHE BEWERTUNG

Sowohl menschliche Aktivitäten als auch Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen aus Baumaterialien und Einrichtungsgegenständen führen zu einer Belastung der Innenraumluft. Teppichböden können über einen langen Zeitraum eine Vielzahl flüchtiger organischer Verbindungen emittieren und tragen somit zur Exposition des Menschen in Innenräumen bei. Zur gesundheitsgefährdenden Wirkung der in der Innenraumluft enthaltenen Einzelkomponenten als Gemisch wurde eine umfangreiche Diskussion geführt (zusammenfassend bei Bartsch et al. 1998). Es gibt derzeit kein allgemein gültiges Bewertungsschema für die Bewertung von Stoffgemischen in der Innenraumluft. Im folgenden werden verschiedene Verfahren zur Abschätzung einer Gefährdung vorgestellt.

5.1. EINFLUSSFAKTOREN BEI DER QUANTITATIVEN BESTIMMUNG VON VOC-EMISSIONEN AUS TEPPICHBÖDEN

Als Beispiele für die Häufigkeiten des Auftretens bodenbelagstypischer Einzelkomponenten bei Innenraumluft-Messungen seien hier Styrol (4% der Messungen), Phenylcyclohexen (3% der Messungen) und Triisobutylen (10% der Messungen) genannt (Häufigkeit des Auftretens dieser Stoffe in Luftkonzentrationen ab ca. 10 µg/m³ bei 171 Raumluftmessungen in 67 Bürogebäuden, vgl. Tabelle 5.1-1).

Tabelle 5.1-1: Messungen ohne Lüftung in den Jahren 1994-1998 (Quelle: Miljö-Chemie 1999)				
		alle 171 Messungen	72 Messungen kurz nach Baumaßnahmen	99 Messungen ohne vorherige Baumaßnahmen
Styrol	Häufigkeit	7 Fälle	5 Fälle	2 Fälle
	(in %)	4 %	7 %	2 %
	Max.-Wert, $\mu\text{g}/\text{m}^3$	800	800	15
Phenylcyclohex	Häufigkeit	5 Fälle	5 Fälle	0 Fälle
	(in %)	3 %	7 %	0 %
	Max.-Wert, $\mu\text{g}/\text{m}^3$	37	37	-
Triisobutylen	Häufigkeit	18 Fälle	14 Fälle	4 Fälle
	(in %)	10 %	20 %	4 %
	Max.-Wert, $\mu\text{g}/\text{m}^3$	1.300 *	420	1.300 *

Spezielle Analyse der Rohdaten aus dem Bericht von MILJÖ-CHEMIE (Oppl 1999): Flüchtige organische Stoffe (VOC) in der Raumluft von Bürogebäuden, für weitere Details wird auf den Bericht verwiesen (zum kostenlosen Download im Internet: www.miljoe-chemie.de)

* ungewöhnlich hoher Einzelwert – in den anderen Fällen lag die Luftbelastung nicht über $420 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Voraussetzung für die toxikologische Bewertung einer Substanz ist deren qualitative und quantitative Bestimmung. Diese ist bei den aus Teppichböden emittierenden flüchtigen organischen Verbindungen in der Innenraumluft problematisch (z.B. Inhomogenität des Materials, Änderungen in der Materialzusammensetzung über einen kurzen Zeitraum, Adsorption/Desorption von emittierenden Verbindungen an anderen Materialien, bei geringen Gehalten Bestimmungen in dem Bereich der Nachweisgrenze des analytischen Verfahrens, Einfluß von Raumtemperaturschwankungen auf das emittierende Verhalten einer Substanz).

Zur Bestimmung der aus Teppichboden emittierenden Verbindungen in kleinen Prüfkammern sind mehrere Richtlinien veröffentlicht worden. Keine dieser veröffentlichten Richtlinien oder Methoden ist validiert, nur einige wurden in einem

Vergleich zwischen verschiedenen Laboratorien überprüft. Unterschiedliche Methoden der Probennahme, der Probenaufbereitung und Modifikationen bei der analytischen Bestimmungsmethode können bei ein und demselben Probenmaterial in verschiedenen Laboratorien zu sehr unterschiedlichen Ergebnissen führen. Die Weiterentwicklung der analytischen Verfahren macht außerdem ein Vergleich zwischen Bestimmungen neueren und älteren Datums schwierig (Oppl 1999). Als wesentliche Gründe für die großen Unterschiede bei den Ergebnissen der beteiligten Laboratorien eines Ringversuchs können Inhomogenität des Probenmaterials, analytische Fehler in den Labors und Adsorption von VOCs an den Wänden der Prüfkammer genannt werden (DeBertoli et al. 1999).

5.1.1. *ANGABEN DER GEHALTE (SUMMENPARAMETER TVOC)*

Zur Abschätzung der Gesamtbelastung eines Innenraumes mit flüchtigen organischen Verbindungen wird auch der TVOC (Total Volatile Organic Compounds) angegeben. Die Quantifizierung wird sehr unterschiedlich gehandhabt, meist erfolgt eine Berechnung aller Messsignale im Gaschromatogramm als Toluol-Äquivalent. In diesem Zusammenhang ist auf die neuen Normen ISO/CD 16000-6 und VDI(E) 4300-6 hinzuweisen, die den Versuch einer Vereinheitlichung der TVOC-Bestimmung darstellen, und auf die Publikation zu diesem Thema von Oppel et. al. (2000). Minderbefunde für den Summenwert TVOC können auf einem zu frühen Abbruch des Gaschromatogramms beruhen. Ein direkter Vergleich von TVOC-Werten aus verschiedenen Messungen ist nur möglich, wenn die Messungen unter vergleichbaren Lüftungsverhältnissen erfolgten, das gleiche Adsorptionsmedium gewählt wurde, eine vergleichbare Desorptionstechnik gewählt wurde und die Berechnung des TVOC auf gleichartige Weise durchgeführt wurde, (Oppl 1999).

Von Seifert wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass der von ihm in einer früheren Publikation speziell für die Innenraumluft vorgeschlagene TVOC-Wert von $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nicht mit toxikologischen Erkenntnissen begründet wurde. Dieser Wert, der in der Praxis in oft unkritischer Weise für Bewertungszwecke herangezogen wird, wurde abgeleitet aus den im Umwelt-Survey 1985/86 für VOC in etwa 500 westdeutschen Wohnräumen gefundenen durchschnittlichen Konzentrationen. In Räumen, die für einen längerfristigen Aufenthalt bestimmt sind, sollte auf Dauer ein TVOC-Wert im Bereich von 1 bis $3 \text{ mg}/\text{m}^3$ nicht überschritten werden. Eine Überschreitung dieses

Bereichs ist als Hinweis darauf aufzufassen, dass eine Einzelstoffbetrachtung durchgeführt werden sollte. Ziel sollte es sein, in Innenräumen im langfristigen Mittel eine TVOC-Konzentration von 0,2 bis 0,3 mg/m³ zu erreichen bzw. nach Möglichkeit zu unterschreiten (Bundesgesundheitsamt 1993; Seifert 1999).

Es sei in diesem Zusammenhang darauf hingewiesen, dass in dem Bericht Nr. 18 der ECA eine Strategie dargelegt wird, über den unter bestimmten Bedingungen ermittelten TVOC-Wert eines Teppichbodens zu einer Güteeinteilung (Gütesiegel; Labelling) des Materials zu gelangen (ECA 18). Das ECA-Konzept ist jedoch eher theoretischer Natur, während das GUT-Siegel eine erhebliche Reduzierung der TVOC-Emissionen aus Teppichböden bewirkte (s. S. 164). Ein solches Gütesiegel, das auf Grundlage des TVOC-Gehaltes erteilt ist, trifft zwar eine Aussage zur Menge der emittierenden flüchtigen organischen Verbindungen, eine Aussage zur toxikologische Bedeutung dieses TVOC-Werts ist aber nicht möglich.

5.1.2. EMISSIONEN EINZELNER VOC

Emissionen einzelner flüchtiger organischer Verbindungen aus verschiedenen Teppichböden wurden in Prüfkammern der analytischen Abteilung des TFI Aachen bestimmt. Die Probennahme erfolgte nach 24 Stunden. In den Tabelle 4.1-1 bis Tabelle 4.1-5 des Berichtes sind die aus verschiedenen Bodenbelägen emittierenden flüchtigen organischen Verbindungen (VOCs) zusammengestellt.

Für den Versuch einer toxikologischen Bewertung wurde der in verschiedenen Teppichböden bestimmte höchste Mittelwert einer Substanz genommen (Tabelle 5.1-2), Messungen mit TFI gekennzeichnet); der Buchstabe bezeichnet die Art des Bodenbelags, bei dem dieser höchste Mittelwert gefunden wurde (Bodenbelag mit Textilrücken (a); Bodenbelag mit Schaumrücken (b); Nadelvliesbeläge (c); Webwaren (d)). In der Tabelle 5.1-2 ist der für das Neuprodukt (Bestimmung nach 24 Stunden) bestimmte höchste Mittelwert der in den vier verschiedenen textilen Bodenbelägen bestimmten Emissionsraten ($\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{h}$) und Luftkonzentrationen ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) enthalten. Styrol z.B. wurde in Bodenbelägen mit Textilrücken mit 1,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, in Bodenbelägen mit Schaumrücken mit 1,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, in Webwaren mit 1,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ bestimmt; für Nadelvliesbeläge wird kein Wert angegeben. Die Angabe in Tabelle 5.1-2 lautet somit 1,9 (a). Im Vergleich dazu enthalten die folgenden Spalten Ergebnisse von

Hetes et al. (1992) von SBR-Teppichböden (Styrene-Butadiene-Rubber) (Neuprodukt, Bestimmung in der Prüfkammer nach 24 Stunden). Auf Grundlage der 12 in allen Teppichböden am häufigsten vorkommenden Verbindungen wurde über deren jeweilige Mittelwerte aus den Ergebnissen bei 19 Teppichböden ein "composite carpet" als Modell zur Abschätzung des Gesundheitsrisikos zusammengestellt.

Beim Modell des „worst case carpet“ wird angenommen, dass jede der 12 Verbindungen nicht mit dem Mittelwert, sondern mit der höchsten der in den 19 Teppichböden bestimmten Emissionsrate der jeweiligen Verbindung vertreten ist. Teppichboden 9 und Teppichboden 19 sind zwei "reale" Teppichböden mit für einige Verbindungen höchsten Emissionsraten aller gemessenen Teppichböden. Teppichboden 9 hat die höchste Emissionsrate für Styrol und emittiert 11 der 12 Verbindungen. Teppichboden 19 hat die höchsten Emissionsraten für 4-Phenylcyclohexen, 4-Vinylcyclohexen, Undecan, Xylol, Propylbenzol und Ethylbenzol und emittiert 10 der 12 Verbindungen (Hetes et al. 1992). Für die bei Hetes et al. (1992) angegebenen Emissionsraten wurden zum Vergleich mit den Messungen des TFI über einen entsprechenden Luftaustauschfaktor von 0,8 die Raumluftkonzentrationen berechnet.

Tabelle 5.1-2: Emissionsdaten aus Teppichböden											
Name	CAS	Mittelwert TFI (24 h)		Mittelwert Composite Carpet*(24 h)		Mittelwert Worst Case Composite Carpet*(24 h)		Einzelner Teppichboden Carpet Product No. 9*(24 h)		Einzelner Teppichboden Carpet Product No. 19*(24 h)	
		µg/m ³	µg/m ² h	µg/m ³ Faktor 0,8**	µg/m ² h	µg/m ³ Faktor 0,8**	µg/m ² h	µg/m ³ Faktor 0,8**	µg/m ² h	µg/m ³ Faktor 0,8**	µg/m ² h
2-Ethylhexanol	104-76-7	4,7 a	5,9 a								
4-Phenylcyclohexen	4994-16-5	15,9 c	19,8 c	51	64	122	152	27	34	88	110
4-Vinylcyclohexen	100-40-3				3		30		4		27
Acetophenon	98-86-2	10,9 d	13,6 d								
alpha-Pinen	80-56-8	1,4 b	1,8 b								
Benzaldehyd	100-52-7	2,4 a	3,0 a								
Benzalkohol	100-51-6	15,3a	19,1 a								
Butoxyethoxyethanol	112-34-5	3,4 a	4,3 a								
Butylacetat	123-86-4	1,7 d	2,1 d								
Butylglycolacetat	124-17-4	3,7 d	4,6 d								
Cumol /iso-Propylbenzol	98-82-8	2,0 d	2,5 d	0,8	1	6	8	2	3	6	8
Cyclohexanol	108-93-0	3,5 a	4,4 a								
Dekane	124-18-5	8,2 d	10,2 d	3	4	48	60	0,5	0,6	13	16
Dodekane	112-40-3	10,0 c	12,5 c								
Dodekane (1-Dodecane)	112-41-4	1,1 a	1,4 a								
Essigsäurebutylester	123-86-4	0,9 a	1,2 a								
Ethylbenzol	100-41-4	2,7 d	3,4 d	0,8	1	3	4	0,5	0,6	10	12
Heptane	142-82-5	2,9 a	3,6 a								
Hexane	110-54-3	8,4 a	10,5 a								
Hexanal	66-25-1	2,0 d	2,5 d								
l-Limonen	5989-54-8	3,1 d	3,9 d								
Longifolen	475-20-7	1,9 d	2,3 d								
Methylisobutylketon	108-10-1	0,7 a	0,9 a								
Methylpropensäure-methylester	80-62-6	2,1 a	2,6 a								
Nonane	111-84-2	2,3 c	2,9 c								
Pentadekane	629-62-9	9,0 d	11,2 d								
Phenoxyethanol	122-99-6	1,4 d	1,8 d								
Phenylacetylen	536-74-3	1,1 d	1,4 d								
Propylbenzol	103-65-1	1,9 d	2,4 d	2	2	7	9	3	4	6	8
Propylenglykol	57-55-6	18,4 a	23,0 a								
Styrol	100-42-5	1,9 a	2,3 a	30	37	138	173	138	173	82	103
Tetrachlorethen	127-18-4	1,9 b	2,4 b								
Tetradekane	629-59-4	6,0 d	7,6 d								
Toluol	108-88-3	8,0 a	10,0 a	0,2	0,2	0,5	0,6	0,5	0,6	0,5	0,6
Tridekane	629-50-5	4,1 c	5,1 c								
Undekane	1120-21-4	3,2 d	4,0 d	2	2	6	8	5	6	6	8
Summe Xylole		7,7 d	9,7 d	0,8	1	12	15	0,5	0,6	12	15
Summe aller Komponenten		117 c	146 c	121	151	400	500	133	166	350	438

Bemerkungen zu Tabelle 5.1-2:

a: Bodenbelag mit Textilrücken; b: Bodenbelag mit Schaumrücken; c: Nadelvliesbeläge; d: Webwaren; TFI: Vom Teppichforschungsinstitut (TFI) durchgeführte Bestimmungen in der Prüfkammer; *: Hetes et al. (1992) Evaluation of exposures to volatile organics offgassing from new carpets. Final report. EPA Contact Number CR-815509; RTI Report Number 4479-001/12-F. Prepared for the U.S. Environmental Protection Agency, National Center of Environmental Assessment, Research Triangle Park, NC. **: Luftaustauschfaktor zur Berechnung der Konzentration der Substanz in der Luft über die Emissionsrate; „Composite carpet“: auf Grundlage der bei Hetes et al. (1992) bestimmten am häufigsten vorkommenden 12 Verbindungen wurde über deren Mittelwerte aus 19 Teppichböden ein Modell-Teppichboden zusammengestellt (Hetes et al. 1992); „Worst case carpet“: es wird angenommen, dass jede der 12 Verbindungen des "composite carpet" nicht mit dem Mittelwert, sondern mit der höchsten in den 19 Teppichböden bestimmten Emissionsrate der jeweiligen Verbindung in diesem Teppichboden vertreten ist (Hetes et al. 1992); "Carpet Product 9"; "Carpet Product 19": Zwei Teppichböden mit für einige Verbindungen höchsten Emissionswerten (Hetes et al. 1992).

5.1.3. INHALTSSTOFFE VON REINIGUNGSMITTELN IN DER INNENRAUMLUFT NACH TEPPICHBODENREINIGUNG

Bei der Nassreinigung von Teppichböden können Inhaltstoffe des Reinigungsmittels in die Innenraumluft gelangen. Von Robinson et al. (1983) wird berichtet, dass Teilnehmer einer Konferenz über Husten, Heiserkeit, Kopfschmerzen und Augenreizung berichteten. Zurückgeführt wurde dies auf den übermäßigen Einsatz eines Teppichschampoos in dem Raum eine Woche vor der Konferenz. Aufgrund fehlender Daten zur Zusammensetzung von Teppichböden-Reinigungsmitteln sind zu diesen keine weiteren Aussagen möglich.

5.2. METHODEN ZUR ABSCHÄTZUNG TOXISCHER WIRKUNGEN

Zur Abschätzung des durch die emittierenden flüchtigen organischen Verbindungen gegebenen Gesundheitsrisikos sind in der Literatur verschiedene Verfahren beschrieben, auf die teilweise kurz eingegangen werden soll. Aufgrund der sehr unterschiedlichen Ansatzpunkte erscheint eine Abwägung der Methoden gegeneinander nicht als sinnvoll.

5.2.1. ABSCHÄTZUNG ÜBER EIN TIERMODELL ZUR BESTIMMUNG DER SENSORISCHEN REIZWIRKUNG

Eine Reizung der oberen Atemwege führt zu einer charakteristischen Pause während des Ausatmens und dadurch zu einer Abnahme der Respirationsrate. Diese Verlangsamung des Atmens beruht auf einer Stimulierung der Nervenenden des Trigemiusnervs in der Schleimhaut der Nase. Aus der Auftragung der prozentualen

Verminderung der Respirationsrate gegen den Logarithmus der Expositionskonzentration wird bei der Maus die Konzentration bestimmt, bei der mit einer Abnahme der Respirationsrate auf 50 % (RD₅₀) zu rechnen ist.

Zur Berechnung der Reizschwelle beim Menschen wird der RD₅₀-Wert mit dem Faktor 0,03 multipliziert. Nach Einschätzung der Autoren ergeben sich gute Übereinstimmungen mit bestehenden TLV-Werten. Sie schlagen vor, den Bioassay bei Verbindungen, für die kein TLV-Wert existiert, zur Ermittlung von "akzeptierbaren" TLV-Werten einzusetzen (Alarie 1981, Nielsen und Alarie 1982). Wegen großer Schwankungsbreiten zwischen einzelnen Spezies und anderer Faktoren, die mit der Stimulierung des Trigeminusnerves interferieren, ist die Eignung des Tests für die Abschätzung von TLV-Werten vorsichtig zu bewerten (vgl. z.B. Bos et al. 1992).

An Mäusen wurden auch die Wirkungen von Emissionen untersucht, die aus bei bestimmten Temperaturen erwärmten Teppichböden austreten. Bei Teppichböden, die mit Gesundheitsbeschwerden in Verbindung gebracht wurden, war von Reizungen und toxischen Wirkungen bei den Tieren berichtet worden. Einige Tiere verendeten nach bis zu viermaliger einstündiger Exposition. In einer Nachuntersuchung konnten diese Ergebnisse nicht bestätigt werden (Tepper et al. 1995)

5.2.2. *ABSCHÄTZUNG ÜBER DEN GERUCHSSCHWELLENWERT*

Manche Verbindungen können noch in sehr niedrigen Konzentrationen über den Geruchssinn wahrgenommen werden. Höhere Gehalte werden oft als Geruchsbelästigung empfunden. Angegeben sind in der Tabelle 5.2-1 auch Geruchsschwellenwerte einiger Substanzen. Von Devos et al. (1990) wurde aus den in der Literatur angegebenen Werten für die jeweilige Substanz ein gewichteter Mittelwert berechnet. Der Vergleich mit den ebenfalls in Tabelle 5.2-1 angegebenen Daten von van Gemert und Nettenbreijer (1977) zeigt, dass die Angaben in der Literatur teilweise um mehrere Größenordnungen schwanken. Die neue Prüfnorm ISO/DIS 13301-2 zur Bestimmung von Geruchsschwellenwerten kann künftig zu einer Vereinheitlichung dieser Daten beitragen.

Tabelle 5.2-1: Emissionsdaten aus Teppichböden / Abschätzung								
Name	CAS	Mittelwert*TFI (24 h)		Geruchsschwelle (van Gemert and Nettenbreijer ,1977)	Geruchsschwelle (Devos et al. 1990)	MAK	I _{MAK} x10 ⁻⁵ TRGS	LCI µg/m ³ (ECA 18) oder RW-Wert
		µg/m ³	µg/m ² h					
2-Ethylhexanol	104-76-7	4,7	5,9	400	1318			1000 (f)
4-Phenylcyclohexen	4994-16-5	15,9	19,8	keine Angaben	keine Angaben			800 (c)
Acetophenon	98-86-2	10,9	13,6	1500	1819			
alpha-Pinen	80-56-8	1,4	1,8	10	3890			1000 (e)
Benzaldehyd	100-52-7	2,4	3,0	300	186	II b		
Benzalkohol	100-51-6	15,3	19,1	keine Angaben	keine Angaben	?		
Butoxyethoxyethanol	112-34-5	3,4	4,3	keine Angaben	keine Angaben	100 000	3,4	1000 (MAK)
Butylacetat	123-86-4	1,7	2,1	100	933	480 000?	0,4	7000
Butylglycolacetat	124-17-4	3,7	4,6	keine Angaben	keine Angaben	130 000	2,9	1300 (MAK)
Cumol /iso-Propylbenzol	98-82-8	2,0	2,5	40	120	250 000	0,8	1000
Cyclohexanol	108-93-0	3,5	4,4	200	257	210 000 II c	1,7	2000
Dekan	124-18-5	8,2	10,2	11 000	4365			2000
Dodekan	112-40-3	10,0	12,5	37 000	14 500			10000 (d)
Dodeken (1-Dodecen)	112-41-4	1,1	1,4	keine Angaben	keine Angaben			
Essigsäurebutylester	123-86-4	0,9	1,2	100	933	480 000	0,2	7000
Ethylbenzol	100-41-4	2,7	3,4	400	13			1000
Heptan	142-82-5	2,9	3,6	930000	40700			8000
Hexan	110-54-3	8,4	10,5	123000	79400	180 000	4,7	700
Hexanal	66-25-1	2,0	2,5	40	58			4000 (j)
l-Limonen	5989-54-8	3,1	3,9	10 (d,l-Limonen)	2455 (d,l-Limonen)	II b		1000 (e) d,l-Limonen
Longifolen	475-20-7	1,9	2,3	keine Angaben	keine Angaben			1000 (e)
Methylisobutylketon	108-10-1	0,7	0,9	keine Angaben	1318	83 000	0,8	1000 (l)
Methylpropensäuremethylester	80-62-6	2,1	2,6	keine Angaben	keine Angaben	210 000	1	2000
Nonan	111-84-2	2,3	2,9	60	6761			10000
Pentadekan	629-62-9	9,0	11,2	keine Angaben	keine Angaben			10000 (d)
Phenoxyethanol	122-99-6	1,4	1,8	keine Angaben	keine Angaben	110 000	1,3	1100 (MAK)
Phenylacetylen	536-74-3	1,1	1,4	keine Angaben	keine Angaben			800 (c)
Propylbenzol	103-65-1	1,9	2,4	keine Angaben	keine Angaben			1000 (a)
Propylenglykol	57-55-6	18,4	23,0	200 000	keine Angaben			4000
Styrol	100-42-5	1,9	2,3	200	631	86 000	2,2	70 (1) RW I: 30 µg/m ³ (*)
Tetrachlorethen	127-18-4	1,9	2,4	30 000	42 700			70
Tetradekan	629-59-4	6,0	7,6	keine Angaben	keine Angaben			10000 (d)
Toluol	108-88-3	8,0	10,0	1000	5888	190 000	4,2	1000 RW I: 300 µg/m ³ (**)
Tridekan	629-50-5	4,1	5,1	40 000	16 600			10000 (d)
Undekan	1120-21-4	3,2	4,0	23 000	7762			10000 (d)
Summe Xylole		7,7						1000
Summe aller Komponenten		117						

Bemerkungen zu Tabelle 5.2-1:

*: Höchster Mittelwert der gemessenen textilen Bodebeläge (Textilrücken; Bodenbelag mit Schaumrücken; Nadelvliesbeläge; Webwaren)

Buchstaben in () beziehen sich auf Anmerkungen zur Tabelle der LCI-Werte in ECA 18

RW I : Der RW I ist die Konzentration eines Stoffes in der Innenraumluft, bei der im Rahmen einer Einzelstoffbetrachtung nach gegenwärtigem Kenntnisstand auch bei lebenslanger Exposition keine gesundheitlichen Beeinträchtigungen zu erwarten sind (Bundesgesundhbl. 11/96)

I_{MAK}: Index (MAK); Summe aller Werte der für jede Substanz berechneten Quotienten aus Raumluftkonzentration / MAK-Wert

(*) Anonym (1998) Richtwerte für die Innenraumluft: Styrol. Bundesgesundhbl 41: 392-398

(**) Sagunski H (1996) Richtwerte für die Innenraumluft: Toluol. Bundesgesundhbl. 11/96:416-421

5.2.3. *ABSCHÄTZUNG ÜBER EIN BASISSCHEMA*

RW I UND RW II

Ende 1993 wurde eine Ad-hoc-Arbeitsgruppe aus Mitgliedern der Innenraumluftthygiene-Kommission (IRK) des Umweltbundesamtes und der Arbeitsgemeinschaft der Leitenden Medizinalbeamtinnen und -beamten der Länder (AGLMB) ins Leben gerufen mit dem Ziel der gemeinsamen Erarbeitung von Richtwerten für die Innenraumluft. Von dieser Ad-hoc-Arbeitsgruppe wurde ein Berechnungsschema entwickelt, das auf der Grundlage von LOAEL-Werten bei Mensch oder Tier über verschiedene Unsicherheitsfaktoren die Ableitung von Innenraumluft-Richtwerten ermöglichen soll. Bei diesen Richtwerten wird unterschieden zwischen Richtwert II (RW II) und Richtwert I (RW I).

Der RW II ist ein wirkungsbezogener, begründeter Wert, der sich auf die gegenwärtigen toxikologischen und epidemiologischen Kenntnisse zur Wirkungsschwelle eines Stoffes unter Einbeziehung von Unsicherheitsfaktoren stützt. Er stellt die Konzentration eines Stoffes dar, bei deren Erreichen bzw. Überschreiten unverzüglich Handlungsbedarf besteht, da damit zu rechnen ist, dass sie insbesondere für empfindliche Personen bei Daueraufenthalt in den Räumen eine gesundheitliche Gefährdung darstellt. Zum besseren Verständnis wird er im folgenden auch als Prüfwert bezeichnet.

Der RW I ist die Konzentration eines Stoffes in der Innenraumluft, bei der im Rahmen einer Einzelstoffbetrachtung nach gegenwärtigem Kenntnisstand auch bei lebenslanger Exposition keine gesundheitliche Beeinträchtigung zu erwarten sind. Dieser Wert kann auch als ein Orientierungswert angesehen werden. Der RW I wird vom RW II durch Einführen eines Faktors 10 abgeleitet (Ad-hoc Arbeitsgruppe, Bundesgesundheitsbl. 1996). Nach diesem Schema wurde für Toluol ein RW I von $0,3 \text{ mg/m}^3$ und für Styrol ein RW I von $0,03 \text{ mg/m}^3$ für den Innenraum (Tabelle 5.2-1) abgeleitet (Sagunski 1996, Anonym 1998). Der höchste mittlere Toluolwert der TFI-Messungen der Teppichbodenemissionen liegt bei Anwendung dieses RW I-Wertes (Orientierungswertes) um den Faktor 38, der höchste mittlere Styrolwert um den Faktor 16 niedriger. RW I-Werte, die nach dem Schema auf Grundlage von NOEL/LOAEL-Werten berechnet werden könnten, sind bei den jeweiligen Substanzen angegeben.

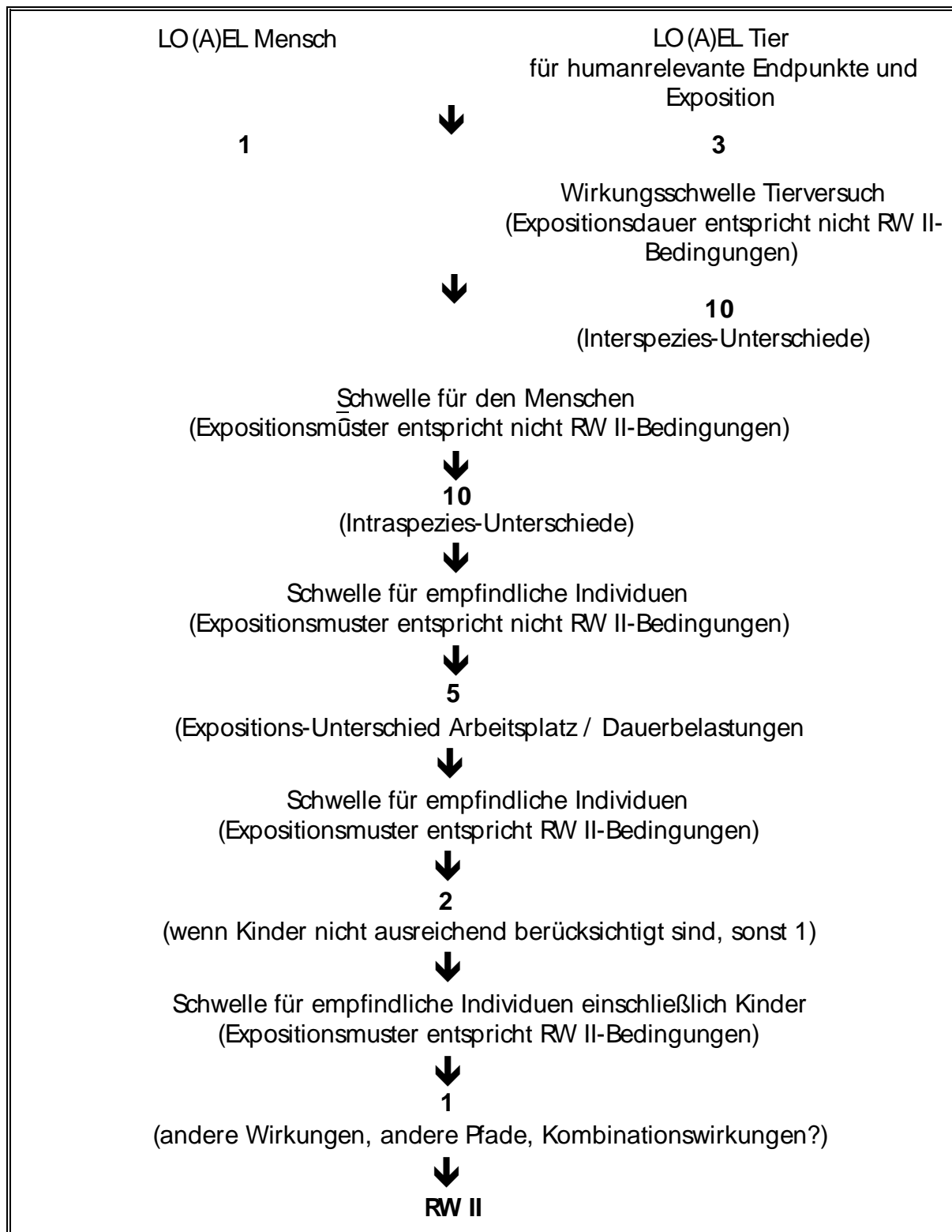


Abbildung 5.2-1: Ableitung von Innenraumwerten: Richtwert (RW II)

Quelle: Ad-hoc-Arbeitsgruppe aus Mitgliedern der Innenraumlufthygiene-Kommission (IRK) des Umweltbundesamtes und des Ausschusses für Umwelthygiene des AGLMB (1996) Bundesgesundhbl. 11/96: 422-426

5.2.4. ABSCHÄTZUNG ÜBER LOWEST CONCENTRATIONS OF INTEREST (LCI-WERTE)

Bei einer anderen Methode der Abschätzung werden LCI-Werte (Lowest Concentration of Interest) verwendet. Zur Berechnung werden Arbeitsplatzgrenzwerte (OELs, Occupational Exposure Limits) oder bestehende Grenzwerte (AQGs, Air Quality Guidelines) herangezogen. Für Styrol wird z.B ein von der WHO in den Air Quality Guidelines veröffentlichter Wert eingesetzt. Von den OELs, die von nationalen Behörden in Dänemark, in Deutschland, in Großbritannien oder in den USA für die einzelnen flüchtigen organischen Verbindungen eingeführt sind, wird der jeweils niedrigste Wert eingesetzt. Als Sicherheitsfaktor wird ein Wert von 100 verwendet, bei Substanzen mit teratogenen oder reproduktionstoxischen Eigenschaften oder bei solchen, die in der EU-Klassifikation in der Kategorie 3 als kanzerogen eingestuft sind, ein Faktor von 1000 (ECA 18). Die Werte sind in der Tabelle 5.2-1 angegeben.

Für die Substanzen, für die in der zitierten Veröffentlichung (ECA 18) kein LCI-Wert angegeben wurde, wurde eine Berechnung auf Grundlage des MAK-Wertes durchgeführt (gekennzeichnet in der Tabelle 5.2-1 mit (MAK)). Für das in der Tabelle 5.2-1 angegebene Butylglykolacetat z.B. wird in der MAK- und BAT-Werte-Liste 2001 (Deutsche Forschungsgemeinschaft 2001) ein MAK-Wert von 130 mg/m^3 angegeben. Mit einem Sicherheitsfaktor von 100 ergibt sich ein LCI-Wert von $1300 \text{ } \mu\text{g/m}^3$. Über den Quotienten aus höchstem gemessene Mittelwert und LCI-Wert einer Verbindung wurde ein "Ranking" nach fallendem Quotienten vorgenommen, um die toxikologische Relevanz einer Verbindung abschätzen zu können (Tabelle 5.2-2)

.

Tabelle 5.2-2: Emissionsdaten aus Teppichböden / Abschätzung / "Ranking"

Name	CAS	Mittelwert* TFI (24 h)	LCI µg/m ³ (ECA 18) oder RW-I-Wert	Quotient Mittelwert / LCI	Geruchsschwelle (van Gemert and Nettenbreijer, 1977)	Geruchsschwelle (Devos et al. 1990)	MAK
		µg/m ³			µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³
Styrol	100-42-5	1,9	70 (l) RW I: 30 µg/m ³	0,0271 0,063 (3)	200	631	86 000
Tetrachlorethen	127-18-4	1,9	70	0,0271	30 000	42 700	
4-Phenylcyclohexen	4994-16-5	15,9	800 (c)	0,0199	keine Angaben	keine Angaben	
Hexan	110-54-3	8,4	700	0,0120	123000	79400	180 000
Toluol	108-88-3	8,0	1000 RW I: 300	0,0080 0,027 (3)	1000	5888	190 000
Summe Xylole		7,7	1000	0,0077			
2-Ethylhexanol	104-76-7	4,7	1000 (f)	0,0047	400	13189	
Propylenglykol	57-55-6	18,4	4000	0,0046	200 000	keine Angaben	
Dekan	124-18-5	8,2	2000	0,0041	11 000	4365	
Butoxyethoxyethanol	112-34-5	3,4	1000 (MAK)	0,0034	keine Angaben	keine Angaben	100 000
l-Limonen	5989-54-8	3,1	1000 (e) (d,l-	0,0031	10 (d,l-Limonen)	2455 (d,l-Limonen)	II b
Butylglycolacetat	124-17-4	3,7	1300 (MAK)	0,0028	keine Angaben	keine Angaben.	130 000
Ethylbenzol	100-41-4	2,7	1000	0,0027	400	13	
Cumol /iso-Propylbenzol	98-82-8	2,0	1000	0,0020	40	120	250 000
Longifolen	475-20-7	1,9	1000 (e)	0,0019	keine Angaben	keine Angaben	
Propylbenzol	103-65-1	1,9	1000 (a)	0,0019	keine Angaben	keine Angaben	
Cyclohexanol	108-93-0	3,5	2000	0,00175	200	257	210 000 II c
alpha-Pinen	80-56-8	1,4	1000 (e)	0,0014	10	3890	
Phenylacetylen	536-74-3	1,1	800 (c)	0,0014	keine Angaben	keine Angaben	
Phenoxyethanol	122-99-6	1,4	1100 (MAK)	0,0013	keine Angaben	keine Angaben	110 000
Methylpropensäuremethylester	80-62-6	2,1	2000	0,0011	keine Angaben	keine Angaben	210 000
Dodekan	112-40-3	10,0	10000 (d)	0,0010	37 000	14 500	
Pentadekan	629-62-9	9,0	10000 (d)	0,0009	keine Angaben	keine Angaben.	
Methylisobutylketon	108-10-1	0,7	1000 (l)	0,0007	keine Angaben	1318	83 000
Tetradekan	629-59-4	6,0	10000 (d)	0,0006	keine Angaben	keine Angaben	
Hexanal	66-25-1	2,0	4000 (j)	0,0005	40	58	
Heptan	142-82-5	2,9	8000	0,0004	930000	40700	
Tridekan	629-50-5	4,1	10000 (d)	0,0004	40 000	16 600	
Undekan	1120-21-4	3,2	10000 (d)	0,0003	23 000	7762	
Nonan	111-84-2	2,3	10000	0,0002	60	6761	
Essigsäurebutylester	123-86-4	0,9	7000	0,0001	100	933	480 000

*: Höchster Mittelwert der gemessenen textilen Bodebeläge (Textilrücken; Bodenbelag mit Schaumrücken; Nadelvliesbeläge; Webwaren)

Buchstaben oder Zahlen in () beziehen sich auf Anmerkungen zur Tabelle der LCI-Werte in ECA 18

RW I: Der RW I ist die Konzentration eines Stoffes in der Innenraumluft, bei der im Rahmen einer Einzelstoffbetrachtung nach gegenwärtigem Kenntnisstand auch bei lebenslanger Exposition keine gesundheitlichen Beeinträchtigungen zu erwarten sind (Bundesgesundhbl. 11/96)

I_{MAK} : mit einem Sicherheitsfaktor von 10

(1) Anonym (1998) Richtwerte für die Innenraumluft: Styrol. Bundesgesundhbl 41: 392-398

(2) Sagunski H (1996) Richtwerte für die Innenraumluft: Toluol. Bundesgesundhbl. 11/96: 416-421

(3) Quotient Mittelwert / RW-I-Wert

5.2.5. ABSCHÄTZUNG ÜBER DIE TECHNISCHE RICHTLINIE GEFÄHRSTOFFE (TRGS) 403

Für Stoffgemische am Arbeitsplatz ist in der TRGS 403 ein Bewertungsverfahren definiert, bei dem die Quotienten aus Stoffkonzentration und MAK-Wert für alle Einzelsubstanzen, deren Konzentrationen mindestens 10% ihres jeweiligen MAK-Wertes erreichen, aufsummiert werden. Die Summe der Einzelquotienten (Konzentration/MAK-Wert) wird als Index (I_{MAK}) bezeichnet und sollte den Wert 1 nicht überschreiten. Von diesem Verfahren kann abgewichen werden, wenn dies arbeitsmedizinisch oder toxikologisch begründet werden kann.

Die Autoren des Berichts zum Basisschema für Richtwerte für die Innenraumluft weisen darauf hin, dass ein entsprechendes Vorgehen auch für Stoffgemische in Innenräumen denkbar ist, sofern diese Stoffe gleiche Wirkungsendpunkte haben und/oder sich in ihren Wirkungsmechanismen entsprechen (Ad hoc Arbeitsgruppe, Bundesgesundhbl. 11/96). Dies wird bei den aus den Teppichböden emittierenden Stoffen nicht in jedem Fall zutreffen; eine Abschätzung nach diesem Bewertungsverfahren (unter Einbeziehung eines Faktors von 5 für den Expositionsunterschied Arbeitsplatz/Dauerbelastung und einem Faktor 2 zur Berücksichtigung der physiologisch bedingten Gegebenheiten bei Kindern) wurde aber trotzdem geprüft (Tabelle 3). Es wird ein Summenwert (I_{MAK}) von $2,4 \times 10^{-4}$ erhalten. Zu dem als kritisch bezeichneten Wert von 1 besteht unter diesen Annahmen für ein Gemisch aus den Substanzen, für die ein Index (I_{MAK}) berechenbar ist, ein Sicherheitsabstand mit einem Faktor von ca. 4000.

5.2.6. ABSCHÄTZUNG ÜBER ANDERE METHODEN

Zur Abschätzung des potentiellen Gesundheitsrisikos, das die aus Teppichböden emittierenden flüchtigen organischen Verbindungen entweder als Einzelverbindung oder als Summe darstellen, wurden noch andere Methoden eingesetzt. Bei der Abschätzung über EPC-Werte (Estimated Permissible Concentration) bilden die von der ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists) veröffentlichten TLV-Werte (Threshold Limit Values) die Grundlage (TERRA 1991). Als Sicherheitsfaktor für die VOCs bei Teppichböden wird ein Sicherheitsfaktor von 100 herangezogen. Die Umrechnung des TLV-Wertes von 40 Stunden auf eine Woche wird durch den Faktor 4,2 vorgenommen.

Andere Autoren verwenden RFD_i-Werte (Inhalation Reference Dose). Dieser Wert stellt eine Schätzung derjenigen täglichen Exposition dar, die zu keinem Zeitpunkt zu nachteiligen Effekten führt. Eingeschlossen sind hierbei auch die empfindlichen Untergruppen einer Bevölkerung (Dietert und Hedge 1996). Auf die spezielle Situation in privaten Innenräumen zugeschnitten sind die Grenzwerte für maximal zulässige Immissionskonzentrationen, die sogenannten MIK-Werte, die vom Verein Deutscher Ingenieure herausgegeben werden. MIK-Werte zielen darauf ab, Gesundheitsschäden bei Kindern, alten und kranken Menschen, insbesondere auch bei langer ununterbrochener Belastung zu vermeiden. (Zurückgezogen wurden die Werte für Ozon, Feinstaub, SO₂ und NO_x; sie sind durch andere Richtlinien ersetzt. Nach mündlicher Auskunft der Kommission Reinhaltung der Luft beim VDI sind die MIK-Werte als inoffizielle Hilfskonstruktion oder Richtschnur zur Ableitung von Grenzwerten durch die Behörden gedacht.)

Es gibt Werte für Dauerbelastung, sogenannte MIK_d-Werte. Die MIK-Werte orientieren sich zum Teil an den MAK-Werten (Maximale Arbeitsplatz-Konzentration). Hilfsweise wird dabei ein Zwanzigstel des entsprechenden MAK-Wertes für den MIK_d-Wert zugrunde gelegt (gsf 1989) oder auch die Division des entsprechenden MAK-Wertes durch den Faktor 100 empfohlen (SRU 1991).

5.3. TOXIKOLOGISCHE BEWERTUNG VON EINZELSUBSTANZEN

Die Kenntnis der Substanz und ihrer vorliegenden Konzentration ist eine wesentliche Voraussetzung für eine toxikologische Bewertung. Wie schon erwähnt, kann es bei der qualitativen und quantitativen Bestimmung der Emissionen flüchtigen organischen Verbindungen aus identischen Teppichbodenproben aufgrund von Probeninhomogenität und unterschiedlichen Analyseverfahren zu teilweise beachtlichen Unterschieden zwischen einzelnen Laboratorien kommen. Die Heranziehung der Ergebnisse der Messungen verschiedener Laboratorien ist deshalb für eine Bewertung nicht sinnvoll. Hinzu kommt, dass bei unterschiedlichen textilen Bodenbelägen von unterschiedlichen Zusammensetzungen der Ausgangsprodukte ausgegangen werden muss.

Aus diesen Gründen sollen hier die Messungen des TFI als Grundlage genommen werden. Von den bestimmten Substanzen werden jene aufgeführt, zu denen eine MAK-Begründung vorliegt oder aber toxikologisch relevante Literatur gefunden wurde.

Ein solches Vorgehen hat sich auch bei der von Buff und Greim (1997) durchgeführten Abschätzung der gesundheitlichen Folgen von Großbränden bewährt. Auch Brandrauch enthält eine Vielzahl chemischer Stoffe, deren gesundheitliche Auswirkungen nicht sofort wahrgenommen werden oder ganz unbekannt sind. Einsatztoleranzwerte auf der Basis einer 4stündigen Exposition ohne Atemschutz sollen dem Einsatzleiter bei einem Brand eine Handhabe für weitere Maßnahmen zum Schutz seiner Leute und der Bevölkerung geben. Zum Beispiel wird für Styrol ein Einsatztoleranzwert von 40 ppm (172 mg/m^3) und für Toluol ein solcher von 100 ppm (380 mg/m^3) angegeben (Buff und Greim 1997).

4-Phenylcyclohexen

Dietert und Hedge (1996) zitieren einen Höchswert von 4-Phenylcyclohexen von etwa 0,02 ppm ($0,123 \text{ mg/m}^3$) und einen Wert von 6,65 ppbv in einem Bürogebäude. Bei Ratten wurde nach Exposition über 2 Wochen gegen 320 mg/m^3 kein Effekt gefunden (Nitschke et al. 1991). Neurotoxische Effekte wurden an Mäusen in einer 2-Wochen-Inhalationsstudie (bis zu 71 ppm) untersucht. Es wurden keine makroskopischen oder histologischen Effekte im Zusammenhang mit der

Behandlung gefunden (Beekman et al. 1996). Dietert und Hedge (1996) stufen die Toxizität von 4-Phenylcyclohexen in Teppichböden als unwesentlich ein. Würde man mit dem NOEL-Wert von 320 mg/m^3 einen RW II-Wert (Prüfwert) berechnen, so käme man auf den Wert von $0,32 \text{ mg/m}^3$ (Faktor 10 für Interspeziesunterschiede, Faktor 10 für Intraspeziesunterschiede, Faktor 5 für Expositionsunterschied Arbeitsplatz / Dauerbelastung und Faktor 2 für Kinder). Hieraus würde sich ein RW I - Wert (Orientierungswert) von $0,032 \text{ mg/m}^3$ ($32 \text{ }\mu\text{g/m}^3$) berechnen. Der bestimmte mittlere Höchstwert für 4-Phenylcyclohexen liegt bei $15,9 \text{ }\mu\text{g/m}^3$ und ist damit um den Faktor 2 niedriger als der berechnete RW I-Wert.

Benzaldehyd

Bei der beruflichen Exposition gegenüber Benzaldehyd sind Reizwirkungen an Haut, Augen sowie an den Schleimhäuten des Atemtraktes die kritischen Effekte. Die vorliegenden Erfahrungen am Menschen aus kurzzeitiger inhalativer Belastung von Probanden oder Beobachtungen am Arbeitsplatz sind für die Ableitung eines wissenschaftlich begründeten MAK-Wertes nicht geeignet. Aus Inhalationsstudien an der Ratte resultiert für Becherzellhyperplasien des Nasenseptums ein LOAEL von $500 \text{ ml Benzaldehyd/m}^3$ (2200 mg/m^3) wobei jedoch deutliche Toxizitätsanzeichen wie klinische Vergiftungssymptome und Körpergewichtsretardierung auftraten. Somit kann auch aus den tierexperimentellen Befunden kein MAK-Wert abgeleitet werden. Demzufolge wird Benzaldehyd in Abschnitt II b der MAK- und BAT-Werte-Liste eingestuft (MAK Begründung (1999)). Würde man mit dem LOAEL-Wert von 500 ppm (2200 mg/m^3) einen RW II-Wert (Prüfwert) berechnen, so käme man auf den Wert von $0,74 \text{ mg/m}^3$ (Faktor 3 für LOEL/NOEL, Faktor 10 für Interspeziesunterschiede, Faktor 10 für Intraspeziesunterschiede, Faktor 5 für Expositionsunterschied Arbeitsplatz / Dauerbelastung und Faktor 2 für Kinder). Hieraus würde sich ein RW I -Wert (Orientierungswert) von $0,074 \text{ mg/m}^3$ ($74 \text{ }\mu\text{g/m}^3$) berechnen. Der bestimmte mittlere Höchstwert für Benzaldehyd liegt bei $2,4 \text{ }\mu\text{g/m}^3$ und ist damit um den Faktor 31 niedriger als der berechnete RW I-Wert.

Butylacetat

Für die Arbeitsplatzsituation ist die Reizwirkung von 1-Butylacetat auf die Augen, die Nasenschleimhaut und den Rachen als kritischer Effekt anzusehen. Bezüglich einer

Wirkschwelle ergeben die vorliegenden Untersuchungen beim Menschen kein einheitliches Bild. Von 2 Autoren sind nach maximal 5 minütiger Exposition gegen 200 ml/m^3 (969 mg/m^3) Symptome beschrieben. Bei 300 ml/m^3 (1440 mg/m^3) wurde die Rachenreizung als schwer bezeichnet. Dagegen unterschied sich die Symptombewertung von Probanden, die für 20 Minuten gegen $74\text{-}295 \text{ ml/m}^3$ ($355\text{-}1416 \text{ mg/m}^3$) exponiert wurden, nicht von den Angaben der Kontrollpersonen. Andererseits wurden in der gleichen Untersuchung von Freiwilligen, die 4 Stunden gegen 147 ml/m^3 (706 mg/m^3) exponiert waren, signifikant häufiger Irritationssymptome, besonders Rachenreizungen, angegeben.

Systemisch-toxische Effekte sind bei Einhaltung des MAK-Wertes (100 ppm; entsprechend 480 mg/m^3) nicht zu erwarten. Eine subchronische Inhalationsstudie mit Ratten ergab einen NOEL von $500 \text{ ml } 1\text{-Butylacetat/m}^3$ (2400 mg/m^3). Einschränkung ist jedoch zu erwähnen, dass vorwiegend neurotoxische Endpunkte untersucht wurden (MAK-Begründungen (1999)). Nimmt man den Wert von 2400 mg/m^3 (500 ppm; NOEL bei Ratten in einer Inhalationsstudie), würde sich ein RW II-Wert (Prüfwert) von $2,4 \text{ mg/m}^3$ ergeben (Faktor 10 für Interspeziesunterschiede, Faktor 10 für Intraspeziesunterschiede, Faktor 5 für Expositionsunterschied Arbeitsplatz / Dauerbelastung und Faktor 2 für Kinder). Hieraus lässt sich ein RW I-Wert (Orientierungswert) von $0,24 \text{ mg/m}^3$ ($240 \mu\text{g/m}^3$) ermitteln. Der bestimmte mittlere Höchstwert für Cyclohexanol liegt bei $1,7 \mu\text{g/m}^3$ und ist damit um den Faktor 141 niedriger als der berechnete RW I-Wert.

Cyclohexanol

Hetes et al. (1992) berichten von einer maximalen Emission von $0,006 \text{ mg/m}^3$. Nach den vorliegenden tierexperimentellen Befunden ist Cyclohexanol akut nicht besonders toxisch, führt aber bei wiederholter Inhalation relativ geringer Konzentrationen (ca. 150 ppm) noch zu eben nachweisbaren histologischen Veränderungen an Leber und Niere. Der MAK-Wert ist 50 ppm / 200 mg/m^3 (MAK Begründung (1961)). Würde man mit dem LOAEL-Wert von 150 ppm (600 mg/m^3) einen RW II-Wert (Prüfwert) berechnen, so käme man auf den Wert von $0,2 \text{ mg/m}^3$ (Faktor 3 für LOEL/NOEL, Faktor 10 für Interspeziesunterschiede, Faktor 10 für Intraspeziesunterschiede, Faktor 5 für Expositionsunterschied Arbeitsplatz / Dauerbelastung und Faktor 2 für Kinder). Hieraus würde sich ein RW I-Wert

(Orientierungswert) von $0,02 \text{ mg/m}^3$ ($20 \text{ }\mu\text{g/m}^3$) berechnen. Der bestimmte mittlere Höchstwert für Cyclohexanol liegt bei $3,5 \text{ }\mu\text{g/m}^3$ und ist damit um den Faktor 6 niedriger als der berechnete RW I-Wert.

n-Decan

Nach Meinung von Dietert und Hedge (1996) sind die Emissionen weit unterhalb der Konzentrationen, die eine Gesundheitsgefährdung bewirken können. Ratten zeigten nach Exposition gegenüber 1369 ppm *n-Decan* (Sättigungskonzentration) über 8 Stunden keine Änderungen im Verhalten (Nielsen et al. 1988). Nimmt man diesen Wert von 8075 mg/m^3 (1369 ppm) als NOEL an, würde sich ein RW II-Wert (Prüfwert) von 8 mg/m^3 ergeben (Faktor 10 für Interspeziesunterschiede, Faktor 10 für Intraspeziesunterschiede, Faktor 5 für Expositionsunterschied Arbeitsplatz / Dauerbelastung und Faktor 2 für Kinder). Hieraus lässt sich ein RW I-Wert (Orientierungswert) von $0,8 \text{ mg/m}^3$ ($800 \text{ }\mu\text{g/m}^3$) ermitteln. Der mittlere Höchstwert für *n-Decan* von $8,2 \text{ }\mu\text{g/m}^3$ liegt um den Faktor 98 niedriger.

n-Dodecan

Ratten zeigten nach Exposition gegenüber 142 ppm *n-Dodecan* (Sättigungskonzentration) über 8 Stunden keine Änderungen im Verhalten (Nielsen et al. 1988). Nimmt man diesen Wert von 1002 mg/m^3 (142 ppm) als NOEL an, würde sich ein RW II-Wert (Prüfwert) von 1 mg/m^3 ergeben (Faktor 10 für Interspeziesunterschiede, Faktor 10 für Intraspeziesunterschiede, Faktor 5 für Expositionsunterschied Arbeitsplatz / Dauerbelastung und Faktor 2 für Kinder). Hieraus lässt sich ein berechneter RW I-Wert (Orientierungswert) von $0,1 \text{ mg/m}^3$ ($100 \text{ }\mu\text{g/m}^3$) ermitteln. Der mittlere Höchstwert für *n-Dodecan* von $10 \text{ }\mu\text{g/m}^3$ liegt um den Faktor 10 niedriger.

Isopropylbenzol (Cumol)

Nielsen and Alarie (1982) bestimmten einen RD_{50} of 2490 ppm ; basierend auf dem Faktor von 0,03 wird ein TLV von 75 ppm erhalten. Die in einer Inhalationsstudie nur bei männlichen Ratten beobachtete Nierenschädigung wurde als eine spezies- und geschlechtsspezifische α_2 -Mikroglobulin-Nephropathie gedeutet. In der MAK-Begründung zu iso-Propylbenzol gibt es mehrere inhalative Studien. Zu iso-Propylbenzol liegen keine für die Ableitung eines Grenzwertes relevanten

Erfahrungen beim Menschen vor. An der Ratte wurde sowohl bei akuter als auch bei subchronischer Exposition ein NOEL bezüglich systemischer Effekte von 100 ml/m^3 ermittelt. Bei höheren Konzentrationen traten zentralnervöse Effekte bzw. Effekte an Leber und Niere auf. Basierend auf den tierexperimentellen Daten zur systemischen Toxizität von iso-Propylbenzol wird der MAK-Wert von 50 ml/m^3 bestätigt (MAK-Begründung (1996)). Würde man mit dem NOEL-Wert von 100 ml/m^3 (500 mg/m^3) einen RW II-Wert (Prüfwert) berechnen, so käme man auf den Wert von $0,5 \text{ mg/m}^3$ (Faktor 10 für Interspeziesunterschiede, Faktor 10 für Intraspeziesunterschiede, Faktor 5 für Expositionsunterschied Arbeitsplatz / Dauerbelastung und Faktor 2 für Kinder). Hieraus würde sich ein RW I-Wert (Orientierungswert) von $0,05 \text{ mg/m}^3$ ($50 \text{ }\mu\text{g/m}^3$) berechnen. Der bestimmte mittlere Höchstwert für iso-Propylbenzol liegt bei $2,0 \text{ }\mu\text{g/m}^3$ und damit um den Faktor 25 niedriger als der RW I-Wert.

n-Propylbenzol

Hetes et al. (1992) bestimmten einen Höchstwert von $0,0021 \text{ mg/m}^3$ bei der Bestimmung von Teppichböden-Emissionen in der Prüfkammer. Nielsen and Alarie (1982) berichten einen RD_{50} von 1530 ppm (7500 mg/m^3). Die Berechnung mit dem Faktor 0,03 ergibt einen Wert von 50 ppm (225 mg/m^3). Nach Dietert und Hedge (1992) wurden keine Übersichtsstudien zur Toxizität von n-Propylbenzol gefunden. Trotzdem wird von den Autoren angegeben, dass die Gehalte an Emissionen von Propylbenzol aus Teppichböden weit unter dem Toxizitätsbereich liegen.

Styrol

Dietert und Hedge (1996) zitieren für Styrol einen RD_{50} -Wert von 980 ppm (4214 mg/m^3), aus dem sich über den Faktor 0,03 ein TLV-Wert von 29 ppm (125 mg/m^3) berechnen lässt. Der von der ACGIH festgesetzte Wert beträgt 50 ppm (215 mg/m^3). Der höchste Wert einer Teppichbodenemission von Styrol wird mit 0,18 ppm ($0,77 \text{ mg/m}^3$) zitiert. Hetes et al. (1992) kommen zu dem Schluss, dass das durch die Emission von Styrol aus Teppichböden vorhandene Risiko, auch über den Lebenszeitraum, innerhalb der akzeptierbaren Bereiche der EPA-Richtlinien liegt.

In der toxikologisch-arbeitsmedizinischen Begründung der MAK-Werte wird in der Bewertung von Styrol darauf hingewiesen, dass Hinweise auf eine kanzerogene Wirkung von Styrol aus Studien mit Mäusen erhalten wurden. Obwohl Styrol daher

eine genotoxische und kanzerogene Wirkung zu unterstellen ist, ist das Risiko für den Menschen bewertbar. Das Risiko, im Laufe des Lebens durch eine 40jährige Exposition am Arbeitsplatz gegen 20 ml Styrol/m³ (86 mg/m³) Luft an Krebs zu erkranken, ist kleiner als das unvermeidliche Risiko durch endogenes Ethylenoxid, für das ein Wert von 1/10 000 abgeschätzt wurde. Es kann daher als sehr gering angesehen werden, obwohl Styrol einen genotoxischen Wirkungsmechanismus besitzt (MAK- Begründung (1998)).

Geuskens et al. (1992) untersuchten holländische Styrol-exponierte Industriearbeiter und berichten von einem NOEL von 105 mg/m³ (ca. 25 ppm). Jegaden et al. (1993) finden geringe aber signifikante Effekte bei Personen, die einer Exposition von 30 ppm (Mittelwert) ausgesetzt waren. Festgelegt ist über das Basisschema der AGBML ein RW II-Wert (Prüfwert) von 0,3 mg/m³, aus dem sich, konventionsgemäß über einen Faktor von 10, ein RW I-Wert (Orientierungswert) von 0,03 mg/m³ (30 µg/m³) ergibt (Anonym 1998). Der höchste mittlere Emissionswert für Styrol aus Teppichböden liegt bei 1,9 µg/m³ und damit um den Faktor 16 unterhalb des RW I-Wertes. Bei der Abschätzung nach dem LCI-Konzept liegt der höchste mittlere Emissionswert um den Faktor 37 unterhalb des für Styrol berechneten LCI-Wertes.

Toluol

Für Toluol wurde ein RD₅₀ of 5300 ppm (20140 mg/m³) bestimmt, dem ein berechneter TLV-Wert von 159 ppm (604 mg/m³) entspricht. Hetes et al. (1992) geben einen LOAEL von ungefähr 40 ppm (152 mg/m³) an. Zur Begründung des MAK-Wertes werden verhaltenstoxikologische Ergebnisse herangezogen. Die Befundlage zu Leistungseffekten spricht für die Annahme erster Wirkungen (LOAEL) ab etwa 75 ml/m³ (285 mg/m³) Die Befundlage zu Befindlichkeitseffekten spricht für die Annahme erster Wirkungen (LOAEL) ab etwa 60 ml/m³ (228 mg/m³) Geht man davon aus, dass die beschriebenen Effekte in niedrigem Expositionsniveau nach Expositionsunterbrechung reversibel sind, dann sind bei Expositionen von 50 ml/m³ (190 mg/m³) langzeitige verhaltenstoxische Wirkungen nicht zu erwarten, d. h. Störungen der Leistungsfähigkeit und des Befindens werden nicht auftreten. Der MAK-Wert wurde daher auf 50 ml/m³ festgelegt (MAK-Begründung (1993)). Für Toluol wurde über das Basisschema der AGBML ein RW I-Wert (Orientierungswert) von 0,3 mg/m³ (300 µg/m³) festgelegt (Sagunski 1996). Der mittlere Emissions-

Höchstwert von Toluol von $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ liegt damit um den Faktor 38 niedriger.

Tridecan

Ratten zeigten nach Exposition gegenüber 41 ppm n-Tridecan (Sättigungskonzentration) über 8 Stunden keine adverse behavioural effects (Nielsen et al. 1988). Nimmt man diesen Wert als NOEL von $313 \text{ mg}/\text{m}^3$ (41 ppm) an, würde sich ein RW II-Wert (Prüfwert) von $0,3 \text{ mg}/\text{m}^3$ ergeben (Faktor 10 für Interspeziesunterschiede, Faktor 10 für Intraspeziesunterschiede, Faktor 5 für Expositionsunterschied Arbeitsplatz / Dauerbelastung und Faktor 2 für Kinder). Hieraus lässt sich ein RW I-Wert (Orientierungswert) von $0,03 \text{ mg}/\text{m}^3$ ($30 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ermitteln. Der mittlere Höchstwert für n-Tridecan von $4,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ liegt um den Faktor 7 niedriger.

n-Undecan

Für n-Undecan wurde eine maximale Konzentration von $0,014 \text{ mg}/\text{m}^3$ bei Messungen von Teppichböden-Emissionen in der Prüfkammer bestimmt, von Hetes et al. wurde die Verbindung in 13 von 19 Teppichböden gefunden. Nach Dietert und Hedge (1996) hat n-Undecan ein ähnliches toxikologisches Profil wie n-Decan. Ratten zeigten nach Exposition gegenüber 442 ppm n-Undecan (Sättigungskonzentration) über 8 Stunden keine Änderungen des Verhaltens (Nielsen et al. 1988). Nimmt man diesen Wert als NOEL von $2867 \text{ mg}/\text{m}^3$ (442 ppm) an, würde sich ein RW II-Wert (Prüfwert) von $3 \text{ mg}/\text{m}^3$ ergeben (Faktor 10 für Interspeziesunterschiede, Faktor 10 für Intraspeziesunterschiede, Faktor 5 für Expositionsunterschied Arbeitsplatz / Dauerbelastung und Faktor 2 für Kinder). Hieraus lässt sich ein RW I-Wert (Orientierungswert) von $0,3 \text{ mg}/\text{m}^3$ ($300 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ermitteln. Der mittlere Höchstwert für n-Undecan von $3,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ liegt um den Faktor 94 niedriger.

Xylol

Hetes et al. (1992) geben für Xylole einen Maximalwert von $0,03 \text{ mg}/\text{m}^3$ bei der Bestimmung von Teppichböden-Emissionen in der Prüfkammer an. Für die RD_{50} verschiedener Xylol-Isomere wird ein Bereich des TLV von 39 bis 40 ppm angenommen (Dietert und Hedge 1996). Die umfangreichen experimentellen Untersuchungen bei Menschen ergaben Hinweise auf Beeinträchtigungen der Gleichgewichtsfunktionen ab $200 \text{ ml Xylol}/\text{m}^3$ (Xylol (alle Isomeren)). Vereinzelt wurden auch

signifikante Abweichungen von Parametern der Gleichgewichtsfunktionen unterhalb dieses Expositions-niveaus gefunden. Letztere konnten aber nicht mit Konsistenz unter wiederholter Exposition oder an Tagen gleicher oder höherer Exposition repliziert werden (MAK-Begründung (1998)). Würde man den Wert von 200 ppm (880 mg/m^3) als LOAEL-Wert annehmen, so würde sich mit dem Faktor 3 (LOEL/NOEL), dem Faktor 10 (Intraspeziesunterschied), dem Faktor 5 (Expositions-Unterschied Arbeitsplatz / Dauerbelastung) und dem Faktor 2 (Berücksichtigung von Kindern) für den RW II ein Wert von 3 mg/m^3 als Prüfwert und konventionsgemäß ein Wert von $0,3 \text{ mg/m}^3$ ($300 \text{ } \mu\text{g/m}^3$) für den RW I-Wert (Orientierungswert) ergeben. Der mittlere Summenwert der Xylole mit $7,7 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ liegt dann um den Faktor 39 unterhalb des berechneten RW I-Wertes.

6. ENTSORGUNG UND VERWERTUNG VON TEPPICHBÖDEN

6.1. BESCHREIBUNG DES IST-ZUSTANDES

Die bei der Herstellung von Teppichen anfallenden Produktionsreststoffe lassen sich in die Abfallarten Farbpasten, Latexschlämme, Garnabfälle, Scherstäube, Schnittkantenabfälle, Konfektionsabfälle, Nahtstreifen, Ausschussware und sonstige Abfälle aufteilen. Der Anteil der Abfälle ist mit ca. 8% - 10% bezogen auf die Produktionsmenge relativ gering: In Westeuropa waren es 1995 ca. 150.000 t. Sie sind in Ihrer Materialzusammensetzung dem Teppichbodenhersteller bekannt. Eine Aufteilung der textilen Abfälle bezogen auf ihre Gesamtmenge ergibt rund 14% Garnabfälle, 27% Kantenabfälle, 11% Scherstäube, 45% Konfektionsabfälle sowie 2% sonstige textile Abfälle. Farbpasten fallen in geringen Reststoffmengen an. Sie werden normalerweise als überwachungsbedürftige Abfälle entsorgt. Latexcompounds aus der Beschichtung werden entweder nach einer Reinigung der Anlagen wieder eingesetzt, oder nach Ausflockung entsorgt. Mengenmäßige Angaben stehen deshalb auch nicht zur Verfügung.

Bei den typischen textilen Reststoffen werden die anfallenden Garnabfälle und Scherstäube bei vielen Unternehmen bereits entsprechend erfasst, gesammelt und verwertet. Die anderen textilen Reststoffe werden im allgemeinen gemischt erfasst und entweder einer Verwertungsanlage zugeführt oder, wie meist üblich, als Abfall entsorgt. Die Verwertungsmöglichkeiten von textilen Produktionsabfällen entsprechen prinzipiell denen von Altteppichböden. Aus diesem Grunde wird ihre mögliche Verwertung im Zusammenhang mit den sich abzeichnenden generellen Entsorgungs- und Verwertungswegen für textile Bodenbeläge erläutert.

6.1.1. ENTSORGUNG

Altteppichböden werden heute hauptsächlich zusammen mit Hausmüll und hausmüllähnlichem Gewerbeabfall entsorgt, wobei dies entweder eine thermische, meist jedoch eine deponiemäßige Entsorgung beinhaltet. Eine prozentuale Aufteilung lässt sich für Westeuropa nicht angeben. Für Deutschland liegt sie zur Zeit bei ca. 65% Deponieentsorgung und ca. 35% thermischer Verwertung, wobei der Trend europaweit stärker in Richtung der Gewinnung thermischer Energie aus Teppichböden geht. Entsorgt werden in Deutschland z.Zt. rund 400.000 t/a.

In Altteppichböden befindet sich zusätzlich ein hoher Anteil von Fremdstoffen wie Schmutz, Klebstoffe, Spachtelmasse, Estrich, andere Fremdkörper, sowie Wasser. Der Anteil an Wasser schwankt sehr stark und liegt natürlich bei einer bei feuchter Witterung durchgeführten Sperrmüllsammlung wesentlich höher als bei trockener Witterung. Die Menge aller anderen Fremdstoffe liegt insgesamt bei unter 10%.

Bei der Rücknahme von Altteppichböden kann zwischen privaten und gewerblichen Anfallstellen unterschieden werden. Berechnet aus ermittelten Daten verschiedener Pilotprojekte in Deutschland zur Sammlung von Teppichböden kann die aufkommende Menge mit ca. 3 kg im privaten und 2 kg im gewerblichen Bereich pro Einwohner und Jahr angegeben werden. Insgesamt sind es also ca. 5 kg pro Einwohner und Jahr, was allein für Deutschland eine Gesamtmenge von rund 400.000 t jährlich ausmacht und die zuvor genannte Abfallmenge bestätigt.

6.1.2. *STOFFLICHE VERWERTUNG*

Um die in Altteppichböden enthaltenen großen Mengen an Wertstoffen nicht einfach nur zu deponieren, laufen derzeit verschiedene Projekte zur Verwertung von Teppichböden. Diese zielen entweder auf eine thermische Verwertung der Teppichböden oder auf eine stoffliche Verwertung einzelner Wertstoffe, wie z.B. eine Rückgewinnung oder Weiterverarbeitung der Fasern, ab. Geplantes und angestrebtes Ziel dieser Projekte ist es, in Zukunft bis zu 80% aller anfallenden Reststoffe und Altteppichböden der Verwertung oder dem Recycling zuzuführen.

Grundvoraussetzung für Verwertung und Recycling ist eine Sammlung der Produktionsreststoffe und Altteppichböden, was aufgrund des dezentralen Anfalls den Aufbau einer logistischen Erfassungsstruktur und eine anschließende Aufbereitung der Altteppichböden voraussetzt. Ein Pilotprojekt der Carpet Recycling Europe (CRE) läuft dazu in Süddeutschland.

Um ein hochwertiges Recycling von textilen Bodenbelägen zu ermöglichen, ist nach heutiger Ansicht eine Identifizierung und Sortierung nach ihrer Nutzschicht (Polyamid 6. und Polyamid 6.6., Polyester und Wolle) ein notwendiger Baustein eines solchen Systems. Zur Identifizierung der Bodenbeläge bietet sich z.B. die Nah-Infrarottechnik an, bei der reflektiertes Infrarotlicht von einem Sensor gemessen und die Ergebnisse

automatisch ausgewertet werden. Entsprechende Geräte sind im Rahmen des RECAM-Projektes entwickelt worden.

Zur weiteren Verarbeitung müssen die sortierten Teppichböden, in Abhängigkeit des weiteren Anforderungsprofils, mechanisch aufbereitet werden. Nach Trennung der Hauptbestandteile kommen entweder die textile Verwertung oder die thermoplastische Verarbeitung, etwa der Polypropylenanteile oder eine Depolymerisation der Polyamid 6-Anteile, in Frage.

Die textile Verwertung eignet sich jedoch nur für solche Bodenbeläge, deren Fasern eine gewisse Mindestlänge überschreiten. Dies ist etwa bei getufteter Schlingenware aus BCF-Garnen der Fall.

Die thermoplastische Aufbereitung eignet sich im Prinzip für alle aussortierten thermoplastischen Faserpolymere, sofern diese sortenrein gewonnen werden. Anhaftende Latexbestandteile müssen jedoch nahezu vollständig entfernt werden, da diese die mechanischen Eigenschaften sonst negativ beeinflussen.

Bisher können nur Polyamid 6-Fasern einer sinnvollen Depolymerisation zugeführt werden. Hierbei wird aus den Polyamid 6-Teppichfasern zunächst Rohcaprolactam gewonnen, das nach entsprechender Aufreinigung (Rekristallisation, Destillation) als Monomeres zur erneuten Polyamid 6-Produktion zur Verfügung steht.

Alle oben genannten Verfahren sind entwickelt und werden in verschiedenen Pilotprojekten erprobt.

6.1.3. ENERGETISCHE VERWERTUNG

Der relativ hohe Heizwert von Altteppichböden (vergleichbar mit Braunkohle) macht eine energetische Verwertung etwa als Ersatzbrennstoff in Zementwerken möglich.

Zur gezielten thermischen Verwertung müssen die Teppichböden in eine förderfähige Form überführt werden. Dies gelingt durch gezielte Zerkleinerung und Pelletierung. Anschließend kann der so aufbereitete Teppichboden einer herkömmlichen Verbrennungsanlage oder einem speziell konzipierten Reaktor, beispielsweise einem Wirbelschichtreaktor, zugeführt werden.

Die thermische Verwertung in den Öfen der Zementindustrie ist heute das größte Einsatzgebiet von Altteppichböden, die zu Ersatzbrennstoffen aufbereitet werden. Dabei dienen die im Teppich enthaltenen Kunststoffe als Ersatz für fossile Brennstoffe, während der hohe Anteil an Kreide im Teppichbodenrücken das benötigte kreidehaltige Gestein ersetzt. Aufgrund dieser sowohl thermischen Verwertung der brennbaren Bestandteile als auch stofflichen Verwertung der in den Teppichböden enthaltenen Kreide (ungefähr 40- Gew.-%) kann dieses Verfahren auch als stofflich-energetische Verwertung angesehen werden.

6.2. PERSPEKTIVEN FÜR DIE VERWERTUNG VON ALTTEPPICHBÖDEN

Entscheidend für die flächendeckende Umsetzung einer Altteppichbodenverwertung sind sowohl die gesetzlichen als auch die ökonomischen Rahmenbedingungen.

Während die zukünftigen gesetzlichen Anforderungen recht gut einzuschätzen sind, muß man sich bei den ökonomischen Rahmenbedingungen stets auf mehr oder weniger vage Abschätzungen verlassen. So hat etwa das Kreislaufwirtschaftsgesetz mit seinen Regelungen zur Deponierbarkeit von Abfällen in der Übergangsphase bis zu seinem Inkrafttreten in 2005 dazu geführt, dass die Kosten für die Deponierung gesunken sind.

Diese Regelungen haben daher dazu geführt, dass die Betreiber von Deponien bestrebt sind, dies bis 2005 zu erfüllen. Die Deponierung steht sozusagen in Konkurrenz zu anderen Entsorgungswegen. Dem Aufbau eines Recyclingsystems für

Teppichböden kommt diese Entwicklung nicht entgegen, sondern erschwert eher die notwendigen Maßnahmen, um für das Jahr 2005 gerüstet zu sein.

Rohölpreise und Rohstoffkosten sind zwei weitere Unbekannte. Die Rückgewinnung von Caprolactam aus PA6-haltigen textilen Bodenbelägen rechnet sich nur, wenn der Preis des Caprolactams entsprechend hoch ist, und sich die Märkte für das recycelte Material entwickeln können. Im Bereich des PA6-Recyclings gibt es weltweit erst zwei Anlagen, die nach unterschiedlichen Verfahren Caprolactam aus PA6-Abfällen gewinnen. Die gemeinsam von DSM und Allied Signal in Augusta (Georgia, USA) betriebene Anlage "Evergreen Nylon Recycling" soll jährlich ca. 90.000 t Nylon-6-haltige Altteppichböden verarbeiten. Die in Premnitz (Brandenburg) betriebene Anlage der Polyamid 2000 AG verarbeitet ca. 20.000 t Altteppichböden zu PA6 und PA66 und gewinnt die dazu notwendige Energie aus der thermischen Verwertung der Restabfallmengen. Beide Anlagenkonzepte sind jedoch mit einem nicht zu unterschätzenden Problem konfrontiert - der Logistik.

Um beispielsweise die Anlage in Premnitz (Brandenburg) wirtschaftlich sinnvoll betreiben zu können, müssen mindestens 120.000 t Altteppichboden aus ganz Deutschland nach Premnitz transportiert werden. Bleibt die Frage, wer am Ende die Kosten dafür trägt.

Ein weiteres kaum zu kalkulierendes Risiko ist der schwankende PA6-Anteil in den gelieferten Altteppichmengen. Nur wenn dieser hoch genug ist, kann die Depolymerisation zu Caprolactam wirtschaftlich betrieben werden. Dies gilt auch für das Evergreen Werk in den USA. Dort werden übrigens, anders als in Premnitz, nur solche Altteppiche zur Verarbeitung akzeptiert, deren PA6-Gehalt hoch genug ist. Eine vorgeschaltete Sortierung ist hier zwingend notwendig.

Neben diesen Recyclingstrategien haben sich im Entsorgungssektor mittlerweile aber auch verschiedene Verwertungswege aufgetan, wie etwa die Aufbereitung zu Sekundärbrennstoffen. Diese Aufbereitung erfolgt dezentral und offensichtlich bereits sehr effektiv; eine nicht zu unterschätzende Konkurrenz zum zentralen Recyclingkonzept der PA 2000. Die hier abgefangenen Altteppichströme gelangen erst gar nicht nach Premnitz und könnten zu einem nicht zu unterschätzenden Engpass bei der Versorgung mit dem "Rohstoff" Altteppich führen.

Die europäische Teppichindustrie favorisiert ein dezentral organisiertes System, in dessen Mittelpunkt eine kostengünstig operierende Sortiertechnik steht. Diese Sortiertechnik ermöglicht es, vor Ort bereits die Wertstofffraktionen (augenblicklich leider nur PA6/PA66) abzutrennen. Nur diese Mengen müssen dann zur weiteren stofflichen Verwertung transportiert werden. Die übrigen Fraktionen können lokal zu Sekundärbrennstoffen aufbereitet und vermarktet werden.

Sofern sich in Zukunft auch für andere in textilen Bodenbelägen enthaltene Materialien wie PP, PES oder Wolle, Märkte entwickeln, können auch diese mit den nötigen Rohstoffen aus Altteppichen versorgt werden.

Das Ziel muß darin bestehen, ein möglichst flexibles Recyclingkonzept zur Verfügung zu stellen, das sowohl auf ökologische als auch ökonomische Herausforderungen reagieren kann.

Letztlich werden die eingangs erwähnten politischen und ökonomischen Rahmenbedingungen ausschlaggebend dafür sein, welche Entsorgungsstrategien sich durchsetzen werden und wie schnell dies geschehen wird. So hat etwa die niederländische Regierung die Entsorgung von Fussbodenbelägen (nicht nur Teppiche) an Nr. 2 ihrer Prioritätenliste gesetzt. An Nr. 1 stehen alle Arten von Maschinen, sowohl Produktionsanlagen als auch Haushaltsmaschinen, von der Waschmaschine bis hin zum Fernsehgerät!

7. PRODUKTVERANTWORTUNG AUS SICHT DER INDUSTRIE

Im folgenden Kapitel wird versucht die Initiative der Industrie aus verschiedenen Blickwinkeln bezüglich der Produktverantwortung zu beleuchten. Dabei werden sowohl Elemente des Stoffstrommanagements als auch technologische Neuerungen dargestellt, die zu einer weiteren Reduktion von Emissionen entlang der gesamten Stoffkette führen.

Kooperationen entlang des Stoffflusses textiler Bodenbeläge

Ziel der "Produktverantwortung" ist es, unter Wahrung der Gebrauchseigenschaften, mögliche Risiken für die menschliche Gesundheit und die Umwelt zu verringern. Hierzu wird, wie im VCI-Leitfaden „Produktverantwortung“ aufgeführt, Sorge getragen durch:

- Verringerung der tatsächlichen und potentiellen Risiken bei Herstellung, Verpackung, Vertrieb, Handhabung, Verwendung und Entsorgung von Produkten.
- Verbesserung der Produktgestaltung, Bewertungsverfahren, Beratung, Ausbildung, Kommunikation und Unterstützung der Kunden.

Produktverantwortung deckt alle Stadien des Lebenszyklusses eines Produktes ab, von der Produktkonzeption bis zur Entsorgung. Produktverantwortung im Sinne einer sicheren und umweltverträglichen Produkthandhabung erfordert eine Zusammenarbeit zwischen Geschäftsführung, Mitarbeitern, Auftragnehmern und Kunden sowie allen anderen Beteiligten in der Lieferkette und zwar ausgehend von der Beschaffung der Rohstoffe über den Gebrauch bis hin zum Endverbleib der Produkte.

Schwerpunktmäßig wurde in der vorliegenden Studie die Produktion behandelt. Aber dennoch wurde sichtbar, dass die chemische Industrie mit ihren Produkten in sämtlichen Lebenswegabschnitten eines textilen Bodenbelages vielfältig gegenwärtig ist. Für die Sicherheit der Hersteller und der Verbraucher sowie für den umweltgerechten Umgang mit dem Produkt Teppich ist daher ein Chemikalienmanagement der chemischen Industrie zum Nutzen der Kunden wichtig. Hieraus ergibt sich für die chemische Industrie, die Verantwortung für ihre Produkte nicht

beim Verkauf enden zu lassen, sondern den am Produktlebensweg Beteiligten mit Rat und Tat zur Seite zu stehen. Wie sich diese Produktverantwortung im konkreten Fall darstellt, zeigt die Praxis entlang des Stoffflusses textiler Bodenbeläge.

Produktverantwortung am Beispiel der textilen Bodenbeläge

Wer einen Teppich kauft, möchte mehr als nur den Fußboden bedecken. Teppiche helfen, einen Raum schöner, behaglicher und letztendlich wohnlicher zu gestalten. Neben diesen vom Kunden gewünschten Funktionen, können mit einem textilen Bodenbelag, wie bei jedem anderen Produkt auch, Wirkungen gegenüber Mensch und Umwelt verknüpft sein, deren Ausmaß oft erst bei der Betrachtung des gesamten Lebensweges sichtbar wird. So entstehen im Stofffluss textiler Bodenbeläge Emissionen bei Herstellung, Transport, Verlegearbeiten, Reinigung, Recycling und Entsorgung. Während der Nutzungsphase können Kleber, Teppichboden und Reinigungsmittel organische Stoffe in die Innenraumluft emittieren. Hunderttausende Tonnen alter Teppiche müssen jedes Jahr allein in der Bundesrepublik Deutschland entsorgt werden.

Neue Entwicklungen in der Chemie und Technologie textiler Bodenbeläge

Schon vor über 10 Jahren haben sich vorausschauende Manager in der Teppichindustrie nicht nur auf die Weiterentwicklung und Optimierung der Produktionsverfahren konzentriert, sondern das Produkt Teppichboden als Teil eines Kreislaufes erkannt und die Produktverantwortung über die Werksgrenzen hinweg angenommen.

Ein erster öffentlicher Schritt war die Gründung der GUT (Gemeinschaft umweltfreundlicher Teppichboden), deren Statuten nicht nur die Umweltfreundlichkeit des Produktes beinhalten, sondern auch die des Produktionsprozesses.

Unter den sich wandelnden Anforderungen der Verbraucher, der Gesetzgeber und der Selbstverpflichtung wurden zunächst Dispensationen für die Herstellung von Teppichböden gefordert, die nur noch minimale Emissionen bei der Verarbeitung und beim Gebrauch verursachen. Durch eine kooperative Zusammenarbeit mit der Industrie konnten Produkte entwickelt werden, die weltweit Maßstäbe setzen.

Der Gedanke, einen Teppichboden wieder zum neuen Teppichboden zu machen (Shortest loop), begeisterte zunächst so viele Firmen, dass ein wahrer „run“ auf den homogenen Aufbau eines bisher durch Materialvielfalt gekennzeichneten Produktes einsetzte. Es wurden Versuche zur Herstellung reiner Polyamid-, Polyester- und Polypropylen-Teppiche durchgeführt, die sich aber als Irrwege erwiesen, da entweder die Einbindung des Fasermaterials (Polyamid, Polyester) in den Träger mangelhaft blieb oder das Fasermaterial selbst (Polypropylen) nur für eingeschränkte Bereiche von Nutzen war. Die Versuche der rein mechanischen Wiederverwertung (Zerkleinern und Garnrückgewinnung) stellten keine ökologisch und ökonomisch vertretbare Alternative zur Neuproduktion dar. Daher wurden Wege gesucht, eine Weiterverwertung zu gewährleisten.

Diese Wege führten zu der Vermarktung von füllstofffreien oder füllstoffarmen Systemen, die einerseits eine thermische Verwertung ohne größere Verbrennungsrückstände ermöglichen, und andererseits auch in der chemischen Aufarbeitung – die zur Rückgewinnung des eingesetzten Rohstoffes Polyamid führt – von Vorteil sind.

Wie bereits aufgezeigt, ist nicht der textile Bodenbelag allein das Produkt, das genutzt wird, sondern erst im verlegten Zustand erfüllt er die Wünsche und Anforderungen seiner Kunden. Um Emissionen zu verringern und das Recycling zu erleichtern, wurden analog zu den Dispersionen für die Teppichherstellung Klebstoffe mit verringertem Emissionsverhalten entwickelt.

Zusätzlich wurden Innovationen vorgestellt, die auf dem Prinzip „Widerhaken“ oder magnetischer Haftung beruhen und damit auch neue Teppichrückenkonstruktionen (Vliesrücken) erfordern. Allerdings erfüllen nicht alle Vliesrücken langfristig die Ansprüche der Kundschaft, die sie von Qualitätsprodukten aus der Teppichindustrie gewohnt sind. Dies gilt ebenso für elastische Beschichtungen (Schaumrücken). Hochwertige elastische Rückenbeschichtungen sind daher billigen hochgefüllten Schaumbeschichtungen vorzuziehen. Der Verbraucher sollte sich daher genau über den Einsatzort (Schlafbereich, Wohnbereich usw.) im Klaren sein und sich dementsprechend beraten lassen.

Die kurz umrissenen neueren Entwicklungen der letzten 10 Jahre zeigen, dass sich die Teppichindustrie in einem von der Umweltverantwortung gelenkten Ent-

wicklungsprozess befindet, auf dem sie durch die Zuliefererindustrie als auch durch Handel und Verbraucher weiterhin unterstützt werden muss, wenn er langfristig erfolgreich sein soll.

In den nachfolgenden Beispielen wird aufgezeigt, wie durch die Chemische Industrie in Kooperation mit den am Produktlebensweg Beteiligten, Lösungen entwickelt wurden bzw. entwickelt werden können. Die Emissionen in Wasser, Atmosphäre und Innerraumluft deutlich verringern sowie den Schutz des Verbrauchers und der Arbeitnehmer verbessern.

Weniger Emissionen in die Luft durch verbesserte Polymerdispersionen

Bei der Beschichtung eines textilen Bodenbelages wurden 1993 pro Anlage im Mittel 4,4 kg organische Komponenten (VOC) pro Stunde oder 1,0-1,5 g org. Komponenten pro m² Teppich in die Atmosphäre entlassen. Diese wurden durch die Beschichtungsmassen, die an den Fasern haftenden Textilhilfsmittel und unverbrannte Erdgasbestandteile aus den Heizbrennern der Spannrahmen verursacht. Bei der Ermittlung dieser Emissionsdaten wurden nur solche Anlagen berücksichtigt, die zu diesem Zeitpunkt dem Stand der Technik entsprachen, um nicht durch Altanlagen eine Verfälschung der Emissionsdaten zu verursachen. Die Betreiber einer solchen Anlage hatten seinerzeit vieles technisch Machbare getan, um das Emissionsniveau so niedrig wie möglich zu halten. Darüber hinaus war sichergestellt, daß auch alle zum Einsatz kommenden Chemikalien dem Stand der Technik entsprachen. Das ermittelte Emissionsniveau wäre also nur durch aufwendige zusätzliche Maßnahmen - etwa dem Einbau einer thermischen Nachverbrennungsanlage - zu reduzieren gewesen.

Ein nicht unerheblicher Anteil der Emissionen wurde durch die Beschichtungsmaterialien und die darin enthaltenen Restmonomeren verursacht. Durch verbesserte Herstellungsverfahren und optimierte Prozeßführung konnten die Rohstoffhersteller den Restmonomergehalt in den Polymerdispersionen absenken. Eine unmittelbare Folge dieser Innovation war eine Verringerung des Emissionsniveaus an den Beschichtungsanlagen der Teppichindustrie.

Eine Beschichtungsanlage emittierte nach 1995 nur noch 50% der früheren

Emissionsfracht, also ca. 2 kg VOC/h. Einzelne Komponenten, wie etwa Styrol, sind sogar um 80% reduziert worden. Diese Werte werden nach aktuellen Messergebnissen heute bereits erneut unterschritten.

Reduktion der Innenraumbelastung

Die neuen Polymerdispersionen haben nicht nur bei der Produktion sondern auch bei der Nutzung von Teppichen die Emission von Stoffen in die Luft gesenkt. Dies kann in Prüfkammerversuchen nachgewiesen werden. Die "Gemeinschaft Umweltfreundlicher Teppichboden" (GUT) hat ein Güte-Signet entwickelt, das die Teppiche auch nach ihrer Eigenschaft beurteilt, organische Stoffe in die Raumluft abzugeben. Für die Beurteilung der fertigen Produkte nach dem Prüfkammerverfahren konnten nach der Einführung der neuen Polymerdispersionen die Grenzwerte von 500 µg/m³ auf 300 µg/m³ gesenkt werden.

Emissionen in die Raumluft gehen aber nicht nur von dem textilen Bodenbelag aus, sondern auch von den bei Verlegearbeiten verwendeten Produkten wie Klebstoffen, Spachtelmassen sowie Vorstrichen und Grundierungen. Die Chemische Industrie hat emissionsarme Verlegewerkstoffe entwickelt, mit denen der Eintrag organischer Stoffe in die Raumluft minimiert werden kann. Die "Gemeinschaft emissionskontrollierter Verlegewerkstoffe e.V." (GEV) hat das Klassifizierungssystem EMICODE entwickelt, das Verlegeprodukte anhand des VOC-Emissionsverhaltens beurteilt. Auch diese Verbesserung ist durch die Zusammenarbeit von Klebstoffherstellern und Teppichproduzenten in der von der GUT initiierten Projektgruppe "Verlegesysteme" ermöglicht worden.

Das GUT Güte-Signet und der EMICODE ermöglichen es dem Verbraucher, Produkte auszuwählen, die ein Minimum an organischen Stoffen in die Raumluft emittieren.



Verringerung der Abwasserbelastung

Kundenanforderungen führen zu einer Vielzahl Farbvarianten bei Textilien. Bei der Herstellung von Teppichen ist die Färbung der Prozess, der den höchsten Anteil an Energie, Chemikalien und Wasser benötigt. Die möglichen Belastungen sind dabei nicht nur in der Menge der eingesetzten Stoffe zu sehen, sondern auch in deren Exposition und Wirkung gegenüber Mensch und Umwelt. Technische Verbesserungen des Färbeprozesses und der Färbeaggregate, die zur Ressourcenschonung beitragen und die Entwicklung umweltfreundlicherer Farbstoffe, Färbehilfsmittel und optimierter Rezepturen verbessern daher die Umweltbilanz des gesamten Lebensweges textiler Bodenbeläge erheblich.

Einsparung durch Druck- und Färbeverfahren

Nachfolgend werden am Beispiel einer vollstufigen Teppichfabrik zwei technische Verbesserungen vorgestellt, die zu beträchtlichen Ressourceneinsparungen geführt haben. Neben der diskontinuierlichen Färbung der Rohware in Haspelkufen werden in dieser Fabrik auch kontinuierliche Druckverfahren angewendet. Jedes der beiden Verfahren wurde traditionell als eigenständige Betriebseinheit betrachtet. Beide Verfahren benötigen unabhängig voneinander Wasser und beziehen dieses aus zwei Brunnen auf dem Betriebsgelände. Durch den Bau betriebseigener Kläranlagen wurden betriebliche Abläufe neu strukturiert. So wurden z.B. 60% des Abwassers aus den Haspelkufen in den kontinuierlichen Färbeanlagen als Spülwasser eingesetzt. Dadurch konnten 30.000 m³ Grundwasser eingespart werden.

Ein in die Klärbecken integrierter Wärmetauscher nutzt die Wärme der Abwässer, um die Wässer für die Haspelkufen aufzuheizen. Damit werden einerseits die Abwässer auf eine für die Klärung optimale Temperatur abgekühlt und andererseits die Aufheizung der Prozesswässer unterstützt, was zu einer deutlichen Energieeinsparnis führt.

An Druckanlagen stellten bis vor einigen Jahren die Reste von Druckpasten, die bei der Umstellung der Farbpaletten anfielen, eines der wesentlichen Umweltprobleme dar, da diese Pastenreste üblicherweise durch Spülvorgänge in das Abwasser gelangten. Heute ist es hingegen gute Praxis, durch geschickte Kombination von Rohrleitungen die Restpasten in die Farbansatzbehälter zurückzupumpen, um so die

nötigen Abfallmengen auf ein Minimum zu reduzieren. Die neuesten Anlagen gestatten einen ‚fliegenden‘ Wechsel der Farbansätze, ohne die Anlage anhalten zu müssen. Der Farbstoffwechsel erfolgt dabei so schnell, dass nur ein halber Meter Teppichboden verworfen werden muss.

Die Farb- und Druckpasten können weitgehend durch Verwendung automatischer Maschinen- und Fassreinigungsanlagen aufgearbeitet werden. Rechnergestützte Rezepturerstellung und Prozeßoptimierung ermöglichen die Minimierung aller Einsatzstoffe.

Maßnahmen für eine ökologisch verträglichere Textilherstellung

Farbstoff- und Hilfsmittelhersteller haben in gemeinsamer Anstrengung mit der Textilveredlungsindustrie erheblich dazu beigetragen, dass die Belastung des Abwassers bei der Herstellung textiler Bodenbeläge vermindert wurde. Die ökologischen Verbesserungen können auch mit ökonomischen Vorteilen verknüpft sein, wenn dadurch der Bau weiterer Abwasseranlagen vermieden wird oder Ressourcen eingespart werden. Stichwortartig sollen nachfolgend einige freiwilligen Maßnahmen der Industrie aufgeführt werden, die zu einer ökologischen Verbesserung der Textilherstellung beigetragen haben:

- Wasch- und Hilfsmittel frei von Alkylphenoethoxilaten (APEO). Durch den Ersatz der APEO's wurde die biologische Abbaubarkeit verbessert.
- Verzicht auf Mineralöle im Pigmentdruck. Waschbenzin wurde ersetzt durch Produkte auf Wasserbasis, was zu einer deutlichen Abnahme von Ölen im Abwasser führte.
- Einsatz farbstarker Chromophorer. Diese ermöglichen trotz geringerer Farbkörpermengen vergleichbare optische Ergebnisse.

Verbesserung der Arbeitssicherheit

Die Industrie hat im Rahmen ihrer Produktverantwortung die Sicherheit der Arbeitnehmer bei der Färbung textiler Bodenbeläge erhöht, durch:

- Ausführliche Produktinformationen und Sicherheitsdatenblätter
- Entwicklung staubarmer Farbstoff-Formulierungen (Granulate) oder Flüssigprodukte
- Beratung in Fragen der Arbeitssicherheit, Produktanwendung und Umweltschutz.

Recycling von Teppichböden

In Westeuropa fallen weit mehr als eine Million Tonnen alte Teppichböden pro Jahr an. Diese Müllmenge führte zu der Überlegung, wie sich die sehr guten Recyclingfähigkeiten von Nylon-Produkten in großem Maßstab auf Teppichböden übertragen lassen. Da letztere zu 50 Prozent aus "Nebenbestandteilen" wie Kleber, Teppichrücken und Latexbeschichtung bestehen, musste eine Methode gefunden werden, mit der die Faser von den übrigen Bestandteilen des Teppichbodens abgetrennt werden kann. Nach mehrjähriger Entwicklungsarbeit von Teppichindustrie und Chemischer Industrie hatte man marktreife Lösungen gefunden. Teppichböden können an Sammelstellen zurückgegeben werden. Die an den Projekten beteiligten Chemieunternehmen (u. a. BASF, DSM) garantieren, dass die Polyamidfasern wieder zu reinem Kunststoff oder anderen nützlichen Produkten recycelt werden.

8. STOFFFLUSSANALYSE TEXTILER BODENBELÄGE – ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE, BEWERTUNG UND EMPFEHLUNGEN

Die vorliegende Studie hatte zum Ziel, die Stoffflüsse eines chemienahen Produktionszweiges und ihre Auswirkungen auf die Umwelt zu analysieren. Dabei sollen nicht nur die Stoffströme der Produktion sondern auch diejenigen, die entlang des Lebensweges der Produkte eine Rolle spielen, erfasst werden. Dagegen wurden Stoffflüsse bei der Herstellung der Vorprodukte nicht berücksichtigt.

Der Gemeinschaftsausschuss „Stoffflüsse der Chemie in der Industriegesellschaft“ der DECHEMA und der GDCh hat sich unter den chemienahen Produktionszweigen bewusst für die textilen Bodenbeläge entschieden, da es sich hierbei um besonders große Stoffströme handelt, die stark verzweigt sind, dessen Produkte aber räumlich begrenzt, im wesentlichen innerhalb der EU, hergestellt werden.

Durch die intensive Mitarbeit der Gesellschaft Umweltfreundlicher Teppichboden (GUT), einer branchenübergreifend agierenden Umweltorganisation der europäischen Teppichbodenindustrie und des TFI, dem zentralen Forschungsinstitut der Branche, standen für die Untersuchung sowohl eine vergleichsweise gute Dichte differenzierter und kritisch bewertbarer Daten, als auch das notwendige fachliche Wissen zur Verfügung. Wesentliche Elemente der Ökobilanzierung wurden auch berücksichtigt (Life Cycle Assessment LCA gemäß ISO 14040-43).

Eine vergleichende Ökobilanz von Teppichböden mit alternativen Bodenbelägen (z.B. Holz, Laminat, PVC, Linoleum, Steinfliesen) konnte wegen fehlender vergleichbarer Daten für die alternativen Bodenbeläge nicht angestrebt werden.

Die in diesem Bericht dargestellten Ergebnisse müssen im Hinblick auf zwei verschiedene Aspekte bewertet werden:

1. den Ressourcenverbrauch und die umweltrelevanten Stoffströme bei der Produktion, Veredlung, Nutzung, und der Entsorgung textiler Teppichböden sowie
2. die Möglichkeit einer Exposition gegenüber toxikologisch relevanten Stoffen während der Gebrauchsphase.

8.1. STOFFFLÜSSE UND RESSOURCENVERBRÄUCHE IN DER PRODUKTION

Textile Bodenbeläge sind ein Produkt der Textilindustrie. Die Ausgangsstoffe und Veredlungschemikalien entstammen im wesentlichen der chemischen Industrie; die Produkte sind direkt für den Endverbrauch bestimmt. Da der Endverbrauch sowohl bei den privaten Haushalten aber auch im gewerblichen Bereich liegt, ist der Stofffluss stark gespreizt. Darüber hinaus ist die Lebensdauer der Produkte, d.h. die Zeitspanne zwischen Herstellung und Entsorgung, mit 8 - 10 Jahren relativ groß.

Teppichböden sind kein einheitliches Produkt. Sie differieren in der Materialzusammensetzung aber auch in den Herstellungsverfahren. Darüber hinaus sind sie geschmacklichen und modischen Trends unterworfen, die am offensichtlichsten in der Farbgebung zu erkennen sind. Reinigungsvorgänge während des Gebrauchs induzieren zusätzliche Stoffströme. Am Ende des Lebensweges werden Teppichböden entsorgt und dabei in geringerem Umfang in die Wertstoffkette zurückgeführt.

Die hinreichend zuverlässige Quantifizierung der Stoffflüsse für den Bezugsraum Deutschland bzw. Westeuropa war, infolge unzureichend vergleichbarer Datenquellen und unterschiedlicher statistischer Aggregationen, mit einem hohen Aufwand verbunden.

Haupt- und Nebenstoffströme auf der Inputseite, d.h. der Einsatz von Rohmaterialien, Wasser und Energie, waren gut quantifizierbar. Einzelbereiche mit hoch differenzierter und komplexer Zusammensetzung der Einsatzstoffe, wie dies z.B. bei Farbstoffen und Färbereihilfsmitteln der Fall ist, ließen sich hingegen kaum erfassen. Die Aufsplitterung der Stoffströme in die verschiedenen Produktsegmente verhindert selbst bei großen Massenströmen eine durchgehende Quantifizierung an Hand vorhandener statistischer Daten. Um solche Schwierigkeiten zu überwinden, wurde ein pragmatisches Vorgehen gewählt und mit modellhaften Betriebsdaten auf der Basis praktischer Erfahrungswerte gearbeitet.

Die Hauptstoffflüsse

Jährlich werden in Westeuropa ca. 1000 Mio. m² textile Bodenbeläge (Tufting-, Web- und Nadelvliesbeläge) verbraucht, was in etwa der Fläche der Stadt Berlin entspricht. Der jährliche Pro-Kopf-Verbrauch in der Bundesrepublik Deutschland liegt bei ca. 5 m². Die Gesamtmenge an jährlich produzierten textilen Bodenbelägen in Westeuropa ergibt ein Gesamtgewicht von ca. 1.606 kt.

Die Hauptstoffflüsse ergeben sich im Wesentlichen aus den eingesetzten polymeren Fasermaterialien und den Beschichtungsmitteln für die Teppichrücken. Chemikalien zur Ausrüstung und Farbgebung bilden mengenmäßig die Nebenstoffströme. Bei einem Gesamtgewicht der eingesetzten Fasermaterialien für Nutzschrift, Träger und Rücken von 836,1 kt/a entfallen auf Polyamide, Polypropylen und Polyester 661,2 kt/a, entsprechend 41,2 %.

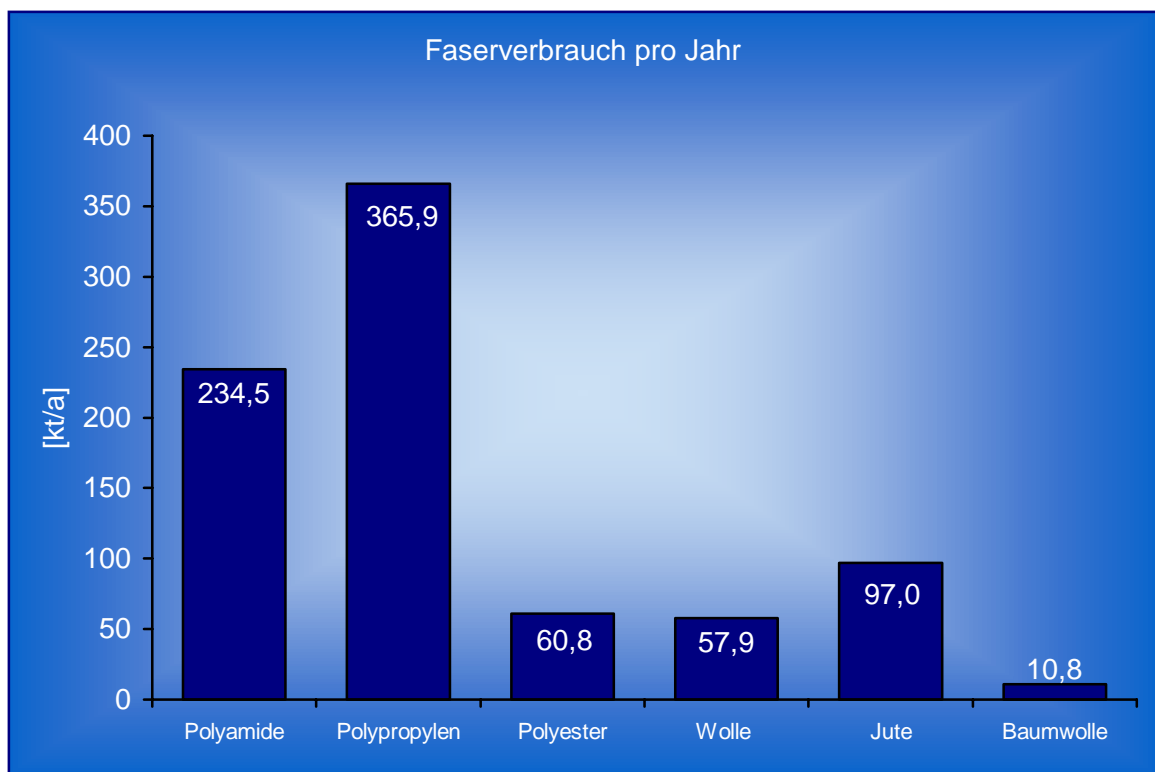


Abbildung 8.1-1: Verbrauch an Fasermaterialien für die EU-Teppichproduktion (1995)

Für die nicht faserartigen Materialien ergibt sich insgesamt ein Stoffstrom von 770,1 kt/a, wovon allein 504,0 kt/a auf anorganische Füllmaterialien, in der Hauptsache Kreide, entfallen. Für SBR-Latices, die in der Beschichtung eingesetzt werden, ergibt sich ein Stoffstrom von 240,5 kt/a. Weiterhin werden für die Verarbeitung 22,3 kt/a Chemikalien und ca. 3,3 kt/a Farbstoffe inklusive Stellmittel verbraucht.

Damit lassen sich die wesentlichen Stoffströme wie folgt zusammenfassen:

• Polymere Materialien:	910,9 kt/a	56,7 %
○ davon Fasern:	670,4 kt/a	41,7 %
○ davon SBR	240,5 kt/a	15,0 %
• Naturfasern:	165,7 kt/a	10,3 %
• Anorganische Materialien:	504,0 kt/a	31,4 %
• Chemikalien:	22,3 kt/a	1,4 %
• Farbstoffe (incl. Stellmittel)	3,3 kt/a	0,2 %
• Total:	1.606,2 kt/a	100 %

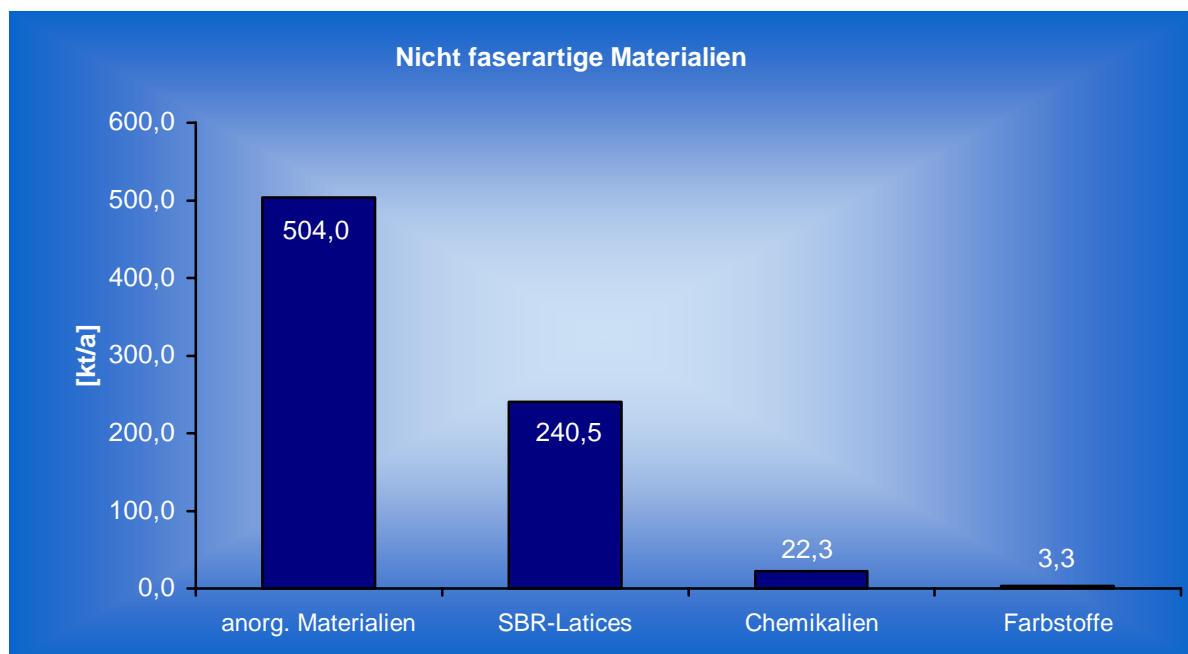


Abbildung 8.1-2: Verbrauch an nicht faserartigen Materialien für die EU-Teppichproduktion (1995)

Neben diesen produktbezogenen Materialflüssen werden durch den Herstellungsprozess noch Nebenstoffflüsse und Ressourcenflüsse induziert. Hierzu gehören Energie-, Wasser-, Abluft und Abfallströme, die separat erfasst und diskutiert wurden.

Die Nebenstoffflüsse

Auf der Outputseite sind die Stoffströme Abluft und Abwasser aus der Produktion sehr viel weniger differenziert beschreibbar. Sie unterscheiden sich außerdem stark je nach Art der Produkte und Produktionsbedingungen und sind daher im Rahmen des Berichtes nur modellhaft bearbeitet worden.

Abluft

Für die Beurteilung der produktionsbedingten ***Emissionen in die Luft*** wurden die Emissionen aus Beschichtungsanlagen (Spannrahmen) als hauptsächlicher Stoffstrom angenommen. Eine quantitative Abschätzung unter Zuhilfenahme modellhafter Annahmen war für die Emission flüchtiger organischer Stoffe als Summenparameter (VOC) sowie für Styrol (als Modellsubstanz) möglich. Eine große Zahl anderer Einzelstoffe wurde aus insgesamt 41 Emissionsmessungen an Beschichtungsanlagen für textile Bodenbeläge identifiziert und einem qualitativen Ranking (Häufigkeit des Vorkommens, Anteil an der Gesamtemission) unterzogen.

Abwasser

Der Stofffluss ***Produktionsabwasser*** stammt im wesentlichen aus der Farbgebung der Teppichböden. Zu berücksichtigen ist, dass die Produktionsabwässer in aller Regel in einer nachgeschalteten kommunalen Kläranlage einer mechanisch-biologischen Reinigung unterzogen werden. Der dabei durch biologischen Abbau und Klärschlammabtrennung erzielte Reinigungseffekt muss in die Stoffflussbetrachtung mit einbezogen werden.

Mangels spezifischer Betriebsdaten wurde in der vorliegenden Studie für eine modellhafte Teppichfabrik ein Berechnungsschema (basierend auf realen Daten) aufgestellt, um den Eintrag von Farbstoffen und Stellmitteln in den Vorfluter abzuschätzen. Unter den Modellannahmen ergeben sich bei einer 50 %-igen Elimination in der Kläranlage und einem Verdünnungsfaktor von 10 Konzentrationen im Vorfluter von 0,04 mg/l Farbkörper und 2 mg/l Stellmittel. Unter worst-case-Annahmen (keine Elimination in der Kläranlage) würden sich die doppelten Konzentrationen ergeben.

Produktionsreststoffe

Die Menge an ***Produktionsreststoffen*** betrug in den Produktionsbetrieben Westeuropas 1995 insgesamt 150.000 t und kann nach verschiedenen Reststoffkate-

gorien und Entsorgungs- bzw. Verwertungswegen aufgegliedert werden. Garnabfälle und Scherstäube werden heute bei vielen Unternehmen getrennt gesammelt und verwertet. Farbpasten fallen in geringen Mengen an und werden in der Regel als überwachungsbedürftige Abfälle entsorgt. Latexreste aus der Beschichtung werden soweit wie möglich recycelt, unvermeidliche Latexabfälle nach Flockung entsorgt. Die Verwertungsmöglichkeiten textiler Produktionsabfälle entsprechen im Wesentlichen denen von Altteppichböden.

Ressourcenverbräuche

Energieverbrauch

Der **Gesamt-Energieverbrauch** der europäischen Teppichboden-Industrie beträgt 13.200 TJ (Tera-Joule). Diese Zahl beinhaltet nicht die vor- und nachgeschalteten Lebenswegabschnitte, insbesondere nicht den Energieaufwand für die Produktion der Einsatzstoffe. Da etwa ein Drittel der produzierten Menge in Deutschland verbraucht wird, kann man den bundesdeutschen Anteil mit etwa 4.300 TJ ansetzen. Dies entspricht etwa 0,16 % der in deutschen Haushalten verbrauchten Primärenergie.

(Anm.: Energieverbrauch in deutschen Haushalten 1995 = 2652 PJ, DIW)

Der Energieaufwand bei der Produktion von 1 m² Teppichboden beträgt 12,6 MJ (Mega-Joule). Ein wesentlich höherer Energieaufwand – ca. 80 MJ – wird aufgewendet, um 1 m² Teppichboden über eine Lebensdauer von 10 Jahren mit Hilfe eines Staubsaugers zu reinigen.

(Anm.: Leistung 1 kW, 30 sec/m², 2-malige Anwendung pro Woche)

Wasserverbrauch

Der **Gesamt-Wasserverbrauch** der europäischen Teppichboden-Industrie beträgt 15,9 Mio. m³/a. Diese Zahl beinhaltet nicht die vor- und nachgeschalteten Lebenswegabschnitte. Dies bedeutet, bezogen auf die in Deutschland verbrauchten Bodenbeläge, einen Wasserverbrauch von 5,3 Mio. m³/a. Bezogen auf den Gesamt-Wasserverbrauch der deutschen Industrie sind dies 0,05 %, und bezogen auf den Trinkwasserverbrauch in Deutschland 0,13 %.

Der Ressourcenverbrauch an Wasser und Primärenergie der Branche liegt somit deutlich unter 1 % der Jahresverbrauchszahlen in den bundesdeutschen Haushalten.

8.2. EMISSIONEN VON TOXIKOLOGISCH RELEVANTEN SUBSTANZEN WÄHREND DER GEBRAUCHSPHASE UND DEREN RISIKOBEWERTUNG

Die Stoffströme während der Nutzung von textilen Teppichböden in Form von Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen bei Verlegung und Gebrauch, sowie von Reinigungschemikalien sind nur einer qualitativen Beschreibung zugänglich.

Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen

Frisch verlegte Teppichböden geben in den ersten Tagen nach dem Verlegen flüchtige organische Verbindungen ab. Aussagen über die Emissionen lassen sich aus Prüfkammer- und Innenraummessungen ableiten. In jedem Fall handelt es sich jedoch um zeitlich veränderliche, nicht konstante Stoffflüsse.

Bei leicht flüchtigen Stoffen, die nach dem Verlegen u.a. zur Geruchsbelastung führen können, nimmt die Konzentration rasch exponentiell ab, während schwerer flüchtige Stoffe infolge von Diffusionseffekten, zu einem Anstieg der Konzentration im Laufe von Monaten, wenn auch auf einem insgesamt deutlich niedrigeren Niveau, führen können.

Auf Grund dieser Erkenntnisse hat die Teppichboden- und Klebstoffindustrie in Eigeninitiative eine Untersuchungs- und Klassifizierungsmethode für emissionskontrollierte Textilbeläge und Textilbelagsklebstoffe entwickelt. Auf dieser Basis sind seit 1997 sehr emissionsarme Klebstoffe verfügbar und bereits seit 1990 emissionsüberwachte textile Bodenbeläge (siehe auch Abschn. 4.2.2).

In der vorliegenden Studie wurde eine Bewertung der Expositionsrisiken durch flüchtige organische Verbindungen aus textilen Bodenbelägen vorgenommen. Zu Grunde lagen umfangreiche Messergebnisse des TFI aus Prüfkammeruntersuchungen. In die Beurteilung der Risiken wurden darüber hinaus die aktuellen toxikologischen Stoffdaten und die in der Wissenschaft diskutierten Bewertungsschemata für Schadstoffe in der Innenraumluft einbezogen.

Die vorgenommene Einzelstoffbewertung umfasste die Substanzen:

4-Phenylcyclohexen, Butylacetat, Benzaldehyd, Cyclohexanol, n-Decan, n-Dodecan, Cyclohexanol, n-Decan, n-Dodecan, Isopropylbenzol (Cumol), n-

Für die Abschätzung einer möglichen Gesundheitsgefährdung durch flüchtige Verbindungen aus Teppichböden werden verschiedene Konzepte angewandt. In allen Fällen ist die hinreichende Verfügbarkeit toxikologischer Daten zu den einzelnen Stoffen ein kritischer Punkt. Von einer 1993 eingesetzten Bund/ Länderarbeitsgruppe von Sachverständigen der Raumlufthygiene wurde ein Berechnungsschema zur Abschätzung eines oberen und unteren Risikoschwellenwertes (RW I und RW II) entwickelt. Der Richtwert RW I ist dabei die Konzentration eines Stoffes in der Innenraumluft, bei der - im Rahmen einer Einzelstoffbetrachtung – auch bei lebenslanger Exposition – keine gesundheitliche Beeinträchtigung zu erwarten ist (siehe Abschnitt 5.2).

Alle ermittelten Konzentrationswerte für die o. g. Stoffgruppe waren niedriger als die unteren Risikoschwellenwerte RW I der Stoffe. Bei Mehrstoffexposition im Bereich der unteren Schwellenwerte kann dann eine Aufsummierung der Effekte erwartet werden, wenn ähnliche toxikologische Wirkmechanismen vorliegen.

Der Teppichboden stellt im Innenraum eine wichtige, aber nicht die einzige Emissionsquelle flüchtiger organischer Verbindungen dar. Zur Beurteilung der Raumluftqualität muss der Gesamtbetrag aller flüchtigen organischen Verbindungen (der sog. TVOC-Wert) mit herangezogen werden. Nach Seifert (1999) sollte es das Ziel sein, in Innenräumen im langzeitigen Mittel eine TVOC-Konzentration von 0,2 bis 0,3 mg/m³ zu erreichen bzw. nach Möglichkeit zu unterschreiten. Dieser Bereich kann als hygienischer Vorsorgebereich verstanden werden. Er wird durch Emissionen aus Teppichböden während der Gebrauchsphase deutlich unterschritten.

Bei der Beurteilung der Raumluftqualität ist auch zu bedenken, daß die beim Lüften einströmende Außenluft eine gewisse Grundbelastung aufweist, die durch Entfernen von Quellen im Innenraum nicht beeinflussbar ist (siehe hierzu auch Dettenkofer et al. 2000).

Spezielle Expositionsaspekte

Die Motten- und Käferschutzausrüstung von Wollteppichböden ist in den letzten Jahren immer wieder in die Diskussion geraten. Wolle kommt nur als Polmaterial in getufteten und gewebten textilen Bodenbelägen zum Einsatz, sodass die Menge der verarbeiteten Wolle sehr genau bestimmt werden kann. Für die Mottenschutz-ausrüstung der Wolle mit Pyrethroiden gibt es exakte Vorschriften. Obwohl prinzipiell neben Permethrin noch andere Pyrethroide und Substanzklassen zur Verfügung stehen, wird seit Anfang der 90er Jahre für den Bereich der textilen Bodenbeläge, von wenigen Ausnahmen abgesehen, ausschließlich Permethrin verwendet. Anhand der zur Mottenschutz-ausrüstung vorgeschriebenen Höchstmengen und dem Verbrauch an Wollfasern kann der Gesamtverbrauch an Permethrin errechnet werden. Ein Rückschluss auf die Exposition und Wirkung während des Gebrauchs ist damit jedoch nicht möglich.

Zur Bewertung sei auf die Ergebnisse zweier Forschungsvorhaben des Projektverbundes „Pyrethroide in Innenräumen“ des Fraunhofer-Instituts für Toxikologie und Aerosolforschung, Hannover, des Instituts für Hygiene und des Medizinischen Instituts für Umwelthygiene der Universität Düsseldorf hingewiesen (Workshop „Pyrethroide im Innenraum“ des Instituts für Hygiene der Universität Düsseldorf und des Fraunhofer-Instituts für Toxikologie und Aerosolforschung, Düsseldorf, Juni 2000):

„Wollteppiche/Wollteppichböden, die mit dem Motten- und Käferschutzmittel Permethrin ausgerüstet sind, führen zwar zu einer deutlichen Beladung des Hausstaubs mit Permethrin in den untersuchten Wohnungen, jedoch sind die Permethrinkonzentrationen im toxikologisch relevanten Schwebstaub der Raumluft sehr niedrig und häufig unter der Nachweisgrenze. Die für das Untersuchungskollektiv ermittelten Permethrin-Metabolitenkonzentrationen bewegen sich im Bereich der Hintergrundbelastungen, die anhand von Referenzkollektiven ermittelt wurden, so daß ein Zusammenhang mit den ausgerüsteten Wollteppichen/ Wollteppichböden nicht deutlich wird. Zur Verhinderung eines Motten- bzw. Käferbefalls von Wollteppichen/Wollteppichböden ist eine sachgerechte, vorbeugende Ausrüstung mit dem Motten- und Käferschutzmittel Permethrin günstiger als die Durchführung einer Schädlingsbekämpfungsmaßnahme im Schadensfall. In beiden Studien konnte kein

eindeutiger Nachweis eines Zusammenhangs zwischen Pyrethroidexposition in Innenräumen und der gesundheitlichen Befindlichkeit der Bewohner erbracht werden. Das Studiendesign und die Studienergebnisse geben jedoch keine Auskunft darüber, ob Pyrethroidexpositionen in Innenräumen bei besonders empfindlichen Personen zu einer solchen Beeinträchtigung der gesundheitlichen Befindlichkeit führen. Bei den untersuchten Allergikern war dies zumindest nicht der Fall.“

Anders als im Fall der Mottenschutzmittel stellt sich die Problematik bei den Bioziden dar. Latices, Farbpasten und Hilfsmittel enthalten Wasser und müssen entweder direkt bei der Herstellung oder während der Weiterverarbeitung gegen Oxidation und bakteriellen Befall stabilisiert werden. Für eine solche Stabilisierung stehen viele biozid wirkende Substanzen zur Verfügung. Die Stabilisierung kann ohne spezielle Protokollierung an verschiedenen Stellen der gesamten Produktionskette (Rohstoffe, Vorprodukte, Halbfertigprodukte und Teppichproduktion) erfolgen. Die Biozide werden dabei nur in geringen Konzentrationen eingesetzt, Informationen über Art und Menge der eingesetzten Chemikalien liegen allerdings nicht vor.

Textile Bodenbeläge in der Allergiediskussion

Unter einer Allergie versteht man üblicherweise eine Abwehrreaktion des menschlichen Immunsystems auf natürliche Substanzen, speziell auf Proteine. Beispiele dafür sind allergische Reaktionen auf Pollen (Heuschnupfen), auf Lebensmittel (z.B. Erdbeeren, Kernobst oder Nüsse) oder auf Bienenstiche; aber auch Katzen-, Hunde- und Pferdehaare kommen als Allergene in Betracht. Neben allergischen Reaktionen auf natürliche Substanzen sind aber auch allergische Reaktionen auf synthetische Substanzen (Chemikalien) bekannt. Die Aufnahme von allergenen Substanzen erfolgt in der Regel über den Atemweg (Inhalation), die orale Aufnahme (Essen) oder über den direkten Hautkontakt (z.B. Nickelallergie).

Eine zentrale Rolle in dieser Diskussion spielt die Hausstaubmilbe. Ihre Exkremente zerfallen nach dem Austrocknen in winzig kleine Teilchen, die mit dem Hausstaub aufgewirbelt und mit der Atemluft inhaliert werden. Bei den durch Milbenkot verursachten allergischen Reaktionen handelt es sich meist um heuschnupfenähnliche Symptome. In unserer häuslichen Umgebung finden sich Milben in Betten, Polstermöbeln, Teppichböden oder auch in Tapeten. Die in Teppichböden von Büroräumen gefundenen Allergenkonzentrationen liegen deutlich unterhalb der Sensibilisierungsschwelle, und zwar unabhängig vom Alter des textilen Belags (Deutscher Allergie- und Asthmabund e.V., www.daab.de).

Die Problematik der Hausstaubmilbenallergie für Hausstauballergiker kann nur durch ein komplexes System verschiedener Maßnahmen gelöst werden. Selbstverständlich muss auch der textile Bodenbelag bei der Suche nach Lösungen für Allergiker berücksichtigt werden. Jedoch ist es nach dem Stand der wissenschaftlichen Erkenntnis falsch, zu glauben, der textile Bodenbelag sei die wesentliche Ursache des Problems und seine Entfernung die Lösung.

Bodenleger berichteten gelegentlich von Hautausschlägen an den Händen. Diese Kontaktallergie war auf den vereinzelt Einsatz von Diphenylguanidin als Vulkanisationshilfsmittel bei der Herstellung von Schaumrücken zurückzuführen. Da in der Nutzungsphase der Schaumrücken jedoch durch das Polmaterial abgedeckt ist, ist ein direkter Hautkontakt ausgeschlossen. Diphenylguanidin wird bei der

Schaumrückenherstellung mittlerweile durch andere Substanzen ersetzt, so dass dieses Allergierisiko für Bodenleger weitgehend ausgeschlossen werden kann.

Bei der sog. Latexallergie handelt es sich um eine Allergie gegenüber Proteinen, die im Latex (Naturkautschuk) enthalten sind. Das Problem tritt besonders beim Einsatz von „getauchten“ Latexartikeln, z.B. gepuderten Latex-Handschuhen, auf. Das mit den Allergenen beladene Puder gelangt über die Raumluft in die Atemwege und führt zu allergischen Reaktionen. Im Zusammenhang mit textilen Bodenbelägen kann diese Allergie vollständig vernachlässigt werden, da üblicherweise synthetischer Latex eingesetzt wird, der das betreffende Protein nicht enthält.

8.3. ENTSORGUNG UND RECYCLING VON ALTTEPPICHBÖDEN

In Deutschland fallen jährlich rund 400.000 Tonnen Altteppichböden an, in Westeuropa weit über eine Million Tonnen. Der überwiegende Teil wird heute zusammen mit dem Hausmüll und hausmüllartigem Gewerbemüll auf Deponien oder in Hausmüllverbrennungsanlagen entsorgt.

Die Chemiefaseranteile von Altteppichböden auf Polyamid-Basis sind dem Recycling durch Rückumwandlung zu den Ausgangsstoffen der Polymerfasern zugänglich. Dies gilt insbesondere für Nylon-6, aus dem auf diese Weise der Ausgangsstoff Caprolactam zurückgewonnen werden kann. Da Teppichböden jedoch zu 50 % aus „Nebenbestandteilen“ wie Kleber, Teppichrücken und Latexbeschichtung bestehen, mußten Verfahren entwickelt werden, mit denen die Polyamidfasern von den übrigen Bestandteilen des Teppichbodens abgetrennt werden können. Außerdem wurden Sensor- und Sortiersysteme für Altteppichböden entwickelt, um die Polyamidfraktion automatisch erkennen und abtrennen zu können. Entsprechende Pilotprojekte laufen im Rhein-Main-Gebiet und in Brandenburg. Die an den Projekten beteiligten Chemieunternehmen (u.a. BASF, DSM) garantieren, daß die Polyamidfasern wieder zu dem reinem Kunststoff oder zu anderen Wertstoffen recycelt werden. Technologische Verbesserungspotentiale liegen in der Einführung von Codiersystemen zur automatischen Erkennung der Produktzusammensetzung bei der maschinellen Sortierung der Altteppichböden, mit dem Ziel, die Sortenreinheit der separierten Polyamid-Fraktion weiter zu erhöhen.

Andere Fasermaterialien (Polypropylen, Polyester, Wolle etc.) sind technisch/ökonomisch nur in Ausnahmefällen, z.B. bei größeren Chargen einheitlicher Zusammensetzung, stofflich nutzbar. Erstrebenswert ist hier eine höherwertige energetische Nutzung, z.B. in Zementfabriken oder Kesselanlagen. Die Verbrennung in Müllverbrennungsanlagen ist dieser Verwertungsoption ökologisch, d.h. gemessen an den damit verbundenen Emissionen, äquivalent, führt jedoch zu einer geringeren Energieausbeute. Unter dem Gesichtspunkt der möglichen Ressourceneinsparung erscheint demgegenüber die Deponierung von Altteppichböden als eindeutig schlechtere Lösung.

Die Entwicklung und Einführung eines ökologischen Recyclingsystems für textile Bodenbeläge wird durch die Initiative „Carpet Recycling Europe“ der europäischen Teppichindustrie unterstützt. Voraussetzung einer weiteren Erhöhung der Recyclingquote ist – neben einem flächendeckenden Ausbau der Verwertungszentren – insbesondere die Kooperation der kommunalen Entsorgungsbehörden (Bauhöfe) sowie von Bauträgern, Messegesellschaften etc. als lokale Andienungs- bzw. Anfallstellen für Altteppichböden. Hierfür und zur Mitwirkung der Bürger an derartigen Recyclinginitiativen ist weitere Überzeugungsarbeit zu leisten.

8.4. ÖKOLOGISCHE VERBESSERUNGEN IN DER PRODUKTION (PROZESSE UND PRODUKTE)

In den in dieser Studie analysierten Daten und Prozessen wurden eine Reihe umweltentlastender und ressourcensparender Entwicklungen identifiziert, die sich in der heutigen Betriebspraxis bereits niederschlagen und sowohl auf die Initiative einzelner Unternehmen als auch die erfolgreiche Kooperation der Zulieferbranchen, vor allem der chemischen Industrie, zurückzuführen sind (siehe auch Abschnitt 7). Durch Kooperation der am Lebensweg textiler Bodenbeläge Beteiligten wurden Lösungen entwickelt, die die Emissionen in Wasser, Atmosphäre und Innenraumluft deutlich verringern sowie den Schutz des Verbrauchers und der Arbeitnehmer verbessern.

So arbeiten z.B. Teppich-, Farbstoff- und Faserhersteller eng zusammen, um das gemeinsame Ziel – Farbgebung bei sparsamem Chemikalieneinsatz und geringstmöglicher Umweltbelastung – gemäß Kundenanforderungen und Kosteneffizienz zu erreichen. Dieser Anstrengung kommt besondere Bedeutung zu, da die Farbgebung den größten Ressourcen- und Energieverbrauch aufweist.

Durch gemeinsame Bemühungen der Teppichproduzenten und Klebstoffhersteller und unter Einbeziehung der zentralen Prüfstelle GUT wurden die Emissionen in die Innenraumluft bei Herstellung und Verwendung von Teppichböden durch optimierte Polymerdispersionen und emissionsarme Verlegewerkstoffe verringert.

Um die Mengen an Altteppichen im Hausmüll zu verringern, wurde ein praxiskonformes Recyclingkonzept entwickelt, das die Erhöhung der Recyclingquote zum Ziel hat. Seine Realisierung hängt wesentlich von der Mitwirkung der Marktteilnehmer ab: den Kunden bzw. Endverbrauchern, den Trägern der Entsorgungswirtschaft, dem Handel und den Herstellern.

An diesen Beispielen wird deutlich, dass ein verantwortlicher Umgang mit den Produkten von jedem am Produktlebensweg Beteiligten wahrgenommen werden muß. Produktverantwortung im Sinne eines nachhaltigen Umgangs mit Umwelt und Ressourcen ist nur durch Kooperation möglich. Die chemische Industrie hat dies mit den Anwendern ihrer Produkte bei der Herstellung, Anwendung und Verwertung textiler Bodenbeläge praktiziert.

Mit der Einrichtung einer praxisnah und europaweit agierenden Kompetenzstelle für Umweltschutz und Nachhaltigkeit in Form der Gesellschaft Umweltfreundlicher Teppichboden (**GUT**) gab die Branche einen wesentlichen Anstoß zur Umsetzung der Selbstverpflichtung für eine nachhaltige Entwicklung. Nach der Erfahrung des federführenden Ausschusses ist dies ein beispielhaftes Instrument für mittelständische Branchen, um rasch und kompetent auf Verbraucherfragen zu antworten, öko-effiziente Entwicklungen anzustoßen und neue Herausforderungen der europäischen und nationalen Umweltpolitik, stellvertretend für die Einzelbetriebe, aufzugreifen.

9. LITERATURVERZEICHNIS

Da nur wenige Literaturquellen in ihrer ursprünglichen Form verwendet wurden und häufig nur im Abgleich mit anderen, auch teilweise inhaltlich unterschiedlichen Quellen, ist eine Zuordnung zu den entsprechenden Stellen im Bericht nicht gemacht. Deshalb werden hier alle verwendeten Quellen ohne Zuordnung genannt.

Ad-hoc-Arbeitsgruppe aus Mitgliedern der Innenraumlufthygiene-Kommission (IRK) des Umweltbundesamtes und des Ausschusses für Umwelthygiene der AGLMB (1996) *Richtwerte für die Innenraumluft: Basisschema*. Bundesgesundhbl 11/96: 422-426

Alarie (1981) *Dose-response analysis in animal studies: prediction of human responses*. Environ Health Perspec 42: 9-13

Anonym (1998) *Richtwerte für die Innenraumluft: Styrol*. Bundesgesundhbl 41: 392-398

Augustin R, Bohnhoff A, Finetti C, Klingenberger H, Vankann E (1996), *Anforderungen an textile Bodenbeläge hinsichtlich Umwelt- und Verbraucherschutz, AIF-Nr. 9208*, Schriftenreihe des Deutschen Teppich-Forschungsinstitutes e.V., 1996/59

Augustin R, Bittner HG, Kruk T, Klingenberger H. (Jahr?), *Bestimmung und Bewertung von geruchsintensiven Substanzen und Emissionen bei festverlegten textilen Bodenbelägen in Abhängigkeit von Belag, Untergrund und Haftvermittler während der Nutzung*, AIF-Abschlußbericht Nr. 10985

Bartsch R, Forderkuntz S, Reuter U, Sterzl-Eckert H, Greim H (1998), *Maximum workplace concentration values and carcinogenicity classification for mixtures*. Environmental Health Perspectives 106 (Suppl. 6) 1291-1293

Beekman MJ et al. (1996), *4-Phenylcyclohexene: 2-week-inhalation toxicity and neurotoxicity studies in swiss-webster mice*. Food Chem Toxicol 34: 873-881

Bohnhoff A, Klingenberger H, Deutsches Teppich-Forschungsinstitut e.V., Aachen (1995), In Melliand: *Produktbezogene Ökobilanzen und ihre Bedeutung für textile Bodenbeläge*, Textilberichte 7/8

Bohnhoff A, Deutsches Teppich-Forschungsinstitut e.V., Aachen (1996), *In Innendekorateur: Technische und wirtschaftliche Aspekte der Teppichbodenverwertung in Europa 11/96*

Bos PMJ, Zwart A, Reuzel PGJ, Bragt PC (1992) *Evaluation of the sensory irritation test for the assessment of occupational health risk*. Crit Rev Toxicol 21, 423

Buff K, Greim H (1997) *Abschätzung der gesundheitlichen Folgen von Großbränden. Literaturstudie Teilbereich Toxikologie*. Schriftenreihe der Schutzkommission beim

Bundesminister des Inneren. Herausgegeben vom Bundesamt für Zivilschutz Neue Folge Band 25.

Bundesgesundheitsamt (1993) *Bewertung der Luftqualität in Innenräumen*. Bundesgesundhbl 36: 117-118

Bundesminister für Arbeit und Sozialordnung (1989), *Bewertung von Stoffgemischen in der Luft am Arbeitsplatz (TRGS 403)*. Bundesarbeitsblatt 10/89, 71-72

Comité international de la rayonne et des fibres synthétiques (C.I.R.F.S., 1995), *Floor covering enquiry*,

DeBortoli M, Kephelopoulos S, Kirchner S, Schauenburg H, Vissers H (1999), *State-of-the-art in the measurement of volatile organic compounds emitted from building products: results of European interlaboratory comparison*. Indoor Air 9 (2): 103-116

Dettenkofer M, Lacour M, Lay JP, Thumulla J, Thiel D, Dascher FD (2000), *Innenraumluftuntersuchungen in einem nach ökologisch-gesundheitlichen Aspekten errichteten Verwaltungsgebäude*. Umweltmed. Forsch. Prax. 5: 33-42.

Deutsche Forschungsgemeinschaft, *MAK-Begründung: Gesundheitsschädliche Arbeitsstoffe. Toxikologisch-arbeitsmedizinische Begründung von MAK-Werten*. Herausgeber bis 1992: H. Henschler; Herausgeber ab 1993: H. Greim. VCH Verlag Chemie

Deutsche Forschungsgemeinschaft *MAK- und BAT-Werte-Liste 2001. Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe. Mitteilung 37*. Wiley-VCH.

Deutsches Teppich-Forschungsinstitut (TFI) e.V. Aachen, *Abluftmessungen bei Beschichtungsanlagen der Teppichhersteller von 1992-1996*

Deutsches Teppich-Forschungsinstitut (TFI) e.V., Aachen, *Berechnung von Marktdaten aus unterschiedlichen Quellen*

Deutsches Teppich-Forschungsinstitut (TFI) e.V. Aachen, *Interne Mitteilungen*

Deutsches Teppich-Forschungsinstitut (TFI) e.V., Aachen, *Prüfkammermessungen von fabrikneuer Ware unter Wohnraumbedingungen von 1992-1996*

Deutsches Teppich-Forschungsinstitut (TFI) e.V., Aachen, Schriftenreihe 1999/67

Deutsches Teppich-Forschungsinstitut (TFI) e.V., Aachen, *Teppichboden und Gesundheit*

Deutsches Teppich-Forschungsinstitut (TFI) e.V., Aachen, Veröffentlichungen des TFI

Devos M, Patte F, Rouault J, Laffort P, Van Gemert LJ (1990), *Standardized Human Olfactory Thresholds*. IRL Press at Oxford University Press, New York

Dietert RR und Hedge A (1996) *Toxicological Considerations in Evaluating Indoor Air Quality and Human Health: Impact of New Carpet Emissions*. Critical Rev Toxicology 26: 633-707

EMPA (1995) *Schadstoffemissionen von Baustoffen*

European Collaborative Action (1997), *Indoor Air Quality and Its Impact On Man*. Report No. 18. Evaluation of VOC Emissions from Building Products.

Frost & Sullivan Study (April 1996), *European floor coverings markets*

Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung München (gsf, 1989), *Dicke Luft in Innenräumen*

Gemeinschaft umweltfreundlicher Teppichboden e.V, Aachen (1993), *Auswertung der Fragebogenaktion zu Produktionsabfällen bei Teppichherstellern*

Gemeinschaft umweltfreundlicher Teppichboden e.V., Aachen, *Mottenschutz bei Wollteppichen*

Geuskens RB, Van der Klaauw MM, Van der Tuin J, Van Hemmen JJ (1992), *Exposure to styrene and health complaints in the Dutch glass-reinforced plastics industry*. Ann Occup Hyg 36: 47-57

Hetes RG, Womack DS, Pierson TK, Naugle DF (1992), *Evaluation of exposures to volatile organics offgassing from new carpets. Final report*. EPA Contact Number CR-815509; RTI Report Number 4479-001/12-F. Prepared for the U.S. Environmental protection Agency , National center of Environmental Assessment, Research Triangle Park, NC

Informationen aus dem Internet [http:// www.hollandtrade.com/carpet.htm](http://www.hollandtrade.com/carpet.htm), 1996

Informationen aus dem Internet Statistisches Landesamt Berlin, 1995

Informationen aus dem Internet VCI, 1996

Informationen der Gemeinschaft umweltfreundlicher Teppichboden e.V.,GuT

Intercontuft, International Consultants to the Carpet Industry, 1995

Inventarisatie van strategien voor energiebesparingsmogelijkheden in de textiel-industrie, F. v. Overmeire, Wetenschappelijk en Technisch Centrum van de Belgische Textielijverheid, centexbel, 1995

Jegaden D, Amman D, Simon JF, Habault M, Legoux B, Galopin P (1993), *Study of the neurobehavioural toxicity of styrene at low levels of exposure*. Int Arch Occup Environ Health 64: 527-531

Klingenberger H, Schröder E (1990), *In Färberkalender: Chemische und technologische Eigenschaften von Rückenaustrüstungen für Tufting-Teppichböden*, Deutsches Teppich-Forschungsinstitut e.V., Aachen

Klingenberger H, Vankann E (1995), *Auswirkungen des Einsatzes schwefelarmer Vulkanisationspasten auf die Zusammensetzung der Abluft von Beschichtungs-*

anlagen der Teppichbodenindustrie, AIF_Nr. 8673, Schriftenreihe des Deutschen Teppich-Forschungsinstituts e.V., 1995/53

Mathis R (Henkel KgaA, 1993), *Chemie und Ökologie von Präparationen und Avivagen (für Teppichfaser und -garne)*

Miljö-Chemie (1999), Schriftliche Mitteilung

MØlhave L (1999), *The TVOC concept*. In: Salthamer T (Ed) *Organic Indoor Air Pollutants*. Wiley-VCH Verlag GmbH Weinheim, 305-317

Nielsen OG, Haugen OA, Zahlsen K, Halgunset J, Helseth A, Aarset H, Eide L (1988), *Toxicity of nC9 to nC13 alkanes in the rat on short term inhalation*. *Pharmacol Toxicol* 62: 259-266

Nielsen, GD, Alarie Y (1982), *Sensory irritation, pulmonary irritation, and respiratory stimulation by airborne benzene and alkylbenzenes: prediction of safe industrial exposure levels and correlation with their thermodynamic properties*. *Toxicol Appl Pharmacol* 65: 459-477

Nitschke KD et al. (1991), *Dermal sensitization potential and inhalation toxicological evaluation of 4-phenylcyclohexene*. *Am Ind Hyg Assoc J* 52:192-197

Oppl R (1999), *Flüchtige organische Stoffe (VOC) in der Raumluft von Bürogebäuden. Studie Nr. 90829, Miljö-Chemie (zum kostenlosen Download im Internet: www.miljoe-chemie.de)*.

Oppl, R (2000), *Indoor Air Target Values for Volatile Organic Compounds-Experiences From IAQ Assessments in Germany* Proc. Healthy Buildings Conf., Helsinki

Oppl, R, Höder B, Lange A (2000), *Innenraumluft und TVOC Messung Referenz- und Zielwerte, Bewertung. Ein Diskussionsbeitrag zum TVOC-Konzept*. *Bundesgesundheitsbl-Gesundheitsforsch-Gesundheitsschutz* 43: 513-518.

Persönliche Mitteilung verschiedener Maschinenhersteller für die Teppichbodenindustrie 1996

Persönliche Mitteilung Oudmann, Vereinigung van Nederlandse Tapijfabrikanten, VNTF, 1997

Persönliche Mitteilung verschiedener Teppichboden-Hersteller 1996 und 1997

Persönliche Mitteilung verschiedener Vorlieferanten für die Teppichbodenindustrie 1996

Persönliche Mitteilung R. Coppens, Belgian Textile Federation, FEBELTEX, 1997

Persönliche Mitteilung von D. Bougois, Michel van de Wiele NV, 1997

Persönliche Mitteilung von T.Snik, Forbo Tapijt BV NL 1997

Pflege und Reinigung im Objektbereich, Informationsmaterial des Deutschen Teppich-Forschungsinstituts e.V., Aachen, der Europäischen Teppichgemeinschaft e.V., Wuppertal und der Gemeinschaft umweltfreundlicher Teppichboden e.V., Aachen

Polyurethane and Latex Foam Carpet Backing Today, W. Bez, G. Quack, in Cellular Polymers 2, Seite 31-53, 1983

Protokoll der GUT-Mitgliederversammlung am 19. Oktober 1994 in Vaals.

RECAM, Recycling of Carpet Materials, im euroäischen Verbund durchgeführtes Forschungsprojekt zur Verwertung von Alt-Teppichböden 1995 bis 1998, Teilergebnisse

Robinson PA, Tauxe RV, Winkler WG, Levy ME (1983), *Respiratory illness in conference participants following exposure to rug shampoo*. Infection control 4:158-160

Saarela K, Tirkkonen T (1995), *Survey of analytical methods used in the characterisation of indoor air*, Proceedings of healthy buildings 2, 761-771

Sagunski H (1996), *Richtwerte für die Innenraumluft: Toluol*. Bundesgesundhbl. 11/96: 416-421

Schröder E (1990), *Emissionen während Herstellung, Verarbeitung und Nutzung textiler Bodenbeläge unter besonderer Berücksichtigung wohnmedizinischer Aspekte und der Umweltverträglichkeit*, AIF 7622, Schriftenreihe des Deutschen Teppich-Forschungsinstituts e.V. 1990/36

Seifert B (1999), *Richtwerte für die Innenraumluft - Die Beurteilung der Innenraumluftqualität mit Hilfe der Summe der flüchtigen organischen Verbindungen (TVOC-Wert)*. Bundesgesundhbl 42 (1999) 3, 270 - 278

SRU (1991) *Sondergutachten Abfallwirtschaft*, Tz 1707

Statistischen Bundesamt (1996), Persönliche Mitteilung

Statistischen Bundesamt (1997), Persönliche Mitteilung: Zahlenwerte von 1993, Angaben ermittelt über die Anlieferung des Sperrmülls bei den Anlagen.

Tepper JS, Moser VC, Costa DL, Mason MA, Roache N, Guo Z, Dyer RS (1995), *Toxicological and chemical evaluation of emissions from carpet samples*. Am Ind Hyg Assoc J 56, 158

Teppichboden und Gesundheit, Informationsmaterial des Deutschen Teppich-Forschungsinstituts e.V., Aachen, der Europäischen Teppichgemeinschaft e.V., Wuppertal und der Gemeinschaft umweltfreundlicher Teppichboden e.V., Aachen

Teppichkompass, Tisca Tischhauser & CO AG, 3. Auflage, 1990

TERRA (1991) *A safety assessment of carpet emissions: I. An analysis of those chemicals listed under section 8(e) of TSCA*. TERRA Inc. (Toxicology, Ecology, Research and Risk Assessment), 1234 Timberlane Rd., Tallahassee, FL 32312, U S A.

Teser L, Deutsches Teppich-Forschungsinstitut e.V., Aachen, (1996), In Melliand Textilberichte 3/1996: *Vario Design - Ein neuartiges Tuftverfahren*

Umdruck zur Vorlesung Energiewirtschaft, Lehrstuhl für technische Thermodynamik,
RWTH Aachen, April 1991

Umweltberichte verschiedener Teppichboden-Hersteller für 1996

Union des Fabricants de TAPIS de FRANCE, UFTF, 1995

Van Gemert LJ, Nettenbreijer AH (1977), *Compilation of odour threshold values in air and water*. National Institute for Water Supply, Voorburg, Netherlands. Central Institute for Nutrition and Food Research TNO, Zeist, Netherlands.

Verband der deutschen Heimtextilien-Industrie e.V. (1994), *Die Heimtextilien-Industrie in Zahlen*

Weltgesundheitsorganisation (WHO, 1998), *Indoor Air Quality: Organic Pollutants*
EURO Report and Studies No.111, Copenhagen 1998

Wools of New Zealand, 1995

10. VERZEICHNIS DER ABKÜRZUNGEN

ACGIH:	American Conference of Governmental Industrial Hygienists
AGLMB:	Arbeitsgemeinschaft der Leitenden Medizinalbeamtinnen und -beamten der Länder
AQG:	Air Quality Guideline
DECHEMA:	Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e.V., Frankfurt
ECA:	European Collaborative Action
EPC:	Estimated Permissible Concentration
GDCh:	Gesellschaft Deutscher Chemiker e.V.
GUT:	Gemeinschaft Umweltfreundlicher Teppichboden e.V., Aachen
I _{MAK} :	Index MAK; ergibt sich als Summe der Quotienten Konzentration/MAK-Wert der Einzelbestandteile eines Gemisches
IRK:	Innenraumlufthygiene-Kommission
LCI:	Lowest Concentration of Interest
LD ₅₀ :	die Dosis, die bei 50% der behandelten Tiere letal wirkt
LO(A)EL:	Low Observed (Adverse) Effect Level
MIK:	Maximal zulässige Immissions-Konzentration
MIK _d :	Maximal zulässige Immissions-Konzentration (Dauerbelastung)
NO(A)EL:	No Observed (Adverse) Effect Level
OEL:	Occupational Exposure Limit
RD ₅₀ :	die Dosis, bei der eine Abnahme der Respirationsrate auf 50% des Ausgangswertes beobachtet wird
RFD _i :	Inhalation Reference Dose
RW I:	die Konzentration eines Stoffes in der Innenraumluft, bei der im Rahmen einer Einzelstoffbetrachtung nach gegenwärtigem Kenntnisstand auch bei lebenslanger Exposition keine gesundheitliche Beeinträchtigung zu erwarten ist.
RW II:	wirkungsbezogener, begründeter Wert, der sich auf die gegenwärtigen toxikologischen und epidemiologischen Kenntnisse zur Wirkungsschwelle eines Stoffes unter Einbeziehung von Unsicherheitsfaktoren stützt
SRU:	Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen
SBR:	Styrene-Butadiene-Rubber
TFI:	Deutsches Teppichforschungsinstitut e.V. (Aachen)
TLV:	Threshold Limit Value
TRGS:	Technische Richtlinie Gefahrstoffe
TVOC:	Total Volatile Organic Compounds
VOC:	Volatile Organic Compounds

11. ADRESSENLISTE

Vorsitzende des Ausschusses

Prof. Dr. J. Klein
TU Braunschweig
Lehrstuhl für Makromolekulare Chemie
Hans-Sommer-Str. 10
38106 Braunschweig
Tel.: 0531-3917325
Fax: 0531-3917327

Prof. Dr. R. Zellner
Universität-GH Essen
Institut für Physikalische und
Theoretische Chemie
Universitätsstr. 5
45141 Essen
Tel.: 0201-1833074
Fax: 0201-1833228
Email: reinhard.zellner@uni-essen.de

Mitglieder und Gäste des Ausschusses

Dr. R. Augustin
Deutsches Teppich-Forschungsinstitut
Charlottenburger Allee 41
52068 Aachen
Tel.: 0241-9679136
Fax: 0241-9679200
EMail: raugustin@TFI-online.de

Dr.-Ing. E. Böhm
Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und
Innovationsforschung
Breslauer Str. 48
76139 Karlsruhe
Tel.: 0721-6809126
Fax: 0721-689152
EMail: boe@isi.fhg.de

Dr. U. Bornewasser
Bayer AG
UK-UPP, Geb. W 1
51368 Leverkusen
Tel.: 0214 – 3081297
Fax: 0214 – 3052762
EMail: ulrich.bornewasser.ub@bayer-ag.de

Dr. J. Grütze
DyStar
TO Kundenservice Ökologie
Geb. B. 108
51368 Leverkusen
Tel.: 0214 – 3052283
Fax: 0214 – 3052459
EMail: gruetze.joachim@dystar.com

Frau Dr. M. Herrchen
Fraunhofer Gesellschaft –
Institut für Umweltchemie und Ökotoxikologie
Postfach 1260
57377 Schmallenberg
Tel.: 02972 – 302215
Fax: 02972 – 302319
Email: herrchen@iuct.fhg.de

Prof. Dr. Werner Klein
Fraunhofer Gesellschaft –
Institut für Umweltchemie und Ökotoxikologie
Postfach 1260
57377 Schmallenberg
Tel.: 02972 – 302203
Fax: 02972 – 302319
Email: profklein@iuct.fhg.de

Dr. H. Klingenberger
Deutsches Teppich-Forschungsinstitut
Charlottenburger Allee 41
52068 Aachen
Tel.: 0241-9679127
Fax: 0241-9679200
EMail: hklingenberger@TFI-online.de

Prof. Dr. W. Klöpffer
C.A.U. Gesellschaft für Consulting und
Analytik im Umweltbereich mbH
Daimlerstr. 23
63303 Dreieich
Tel.: 06103 – 98328
Fax: 06103 – 98310
EMail: c.a.u.@t-online.de

Dr. J. Koppenhöfer
Beratergremium für Altstoffe (BUA)
Universität-Essen
Institut für Physikalische und Theoretische Chemie
Universitätsstr. 5
45141 Essen
Tel.: 0201 - 183 4399
FAX: 0201 - 183 3228
EMail: koppenhoefer@phchem.uni-essen.de

Dipl. Ing. H. Nöckel
Deutsches Teppich-Forschungsinstitut
Charlottenburger Allee 41
52068 Aachen
Tel.: 0241 – 9679182
Fax: 0241 – 9679200
Email: hnoeckel@tfi-online.de

Dr. R. Schwabe
Beratergremium für Altstoffe
TU München,
85350 Freising-Weihenstephan
Tel.: 08161 – 715614
Fax.: 08161 – 715618
EMail: rudolf.schwabe@lrz.tu-muenchen.de

Dr. H. - P. Schwenzfeier
Polymer Latex GmbH
Paul-Baumann-Str. 1
45772 Marl, Westf.
Tel.: 02365 - 49 5517
FAX : 02365 - 49 6900
EMail: hp.schwenzfeier@polymer-latex.de

Dr. E. Vankann
GUT (Gemeinschaft umweltfreundlicher Teppichboden e.V.)
Charlottenburger Allee 41
52068 Aachen
Tel.: 0241 - 96843411
Fax: 0241 – 9679200
EMail: mail@gut-ev.de

Dr. J. Wiesner
DECHEMA e. V.
Theodor-Heuss-Allee 25
60486 Frankfurt
Tel.: 069 - 7564 247
Fax: 069 - 7564 176
Email: wiesner@dechema.de

12. ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 2.1-1: Schematische Darstellung des Tuftingverfahrens	6
Abbildung 2.1-2: Hoch-/Tiefstruktur eines Tuftingteppichbodens	7
Abbildung 2.1-3: Schematische Darstellung der Nadelvliesherstellung	8
Abbildung 2.1-4: Herstellung eines maschinengewebten Teppichs nach dem Ruten-Verfahren	9
Abbildung 3.1-1: Bilanzgrenzen der Untersuchung	21
Abbildung 3.2-1: Beispiel des Datenerfassungs- und Rechenschemas	31
Abbildung 3.3-1: 1995 in Westeuropa hergestellte textile Bodenbeläge aufgeteilt nach Ländern und Produktklassen.....	33
Abbildung 3.3-2: 1995 in Westeuropa verbrauchte textile Bodenbeläge aufgeteilt nach Ländern und Produktklassen.....	34
Abbildung 3.3-3: Aufteilung der produzierten Menge textiler Bodenbeläge in Produktklassen	34
Abbildung 3.3-4: Hauptbestandteile und Produktionsmengen eines Tufting-Teppichs	35
Abbildung 3.3-5: Beschichtungsvarianten für Tufting-Teppiche	36
Abbildung 3.3-6: Bestandteile eines Vorstrichs für Tufting-Teppiche (Schaumbeschichtung)	37
Abbildung 3.3-7: Datenstruktur der Massenflüsse für Non-Gel Schaumsysteme	39
Abbildung 3.3-8: Datenstruktur der Massenflüsse für NSF-Schaumsysteme.....	41
Abbildung 3.3-9: Datenstruktur der Massenflüsse für Ammon-Acetat gelierte Schäume	43
Abbildung 3.3-10: Datenstruktur der Massenflüsse für den Kaschierstrich für Textilrückenkonstruktionen	46
Abbildung 3.3-11: Datenstruktur der Massenflüsse für die Varianten der textilen Rückenbeschichtung.....	47
Abbildung 3.3-12: Datenstruktur der Massenflüsse für den Bereich der Schwerbeschichtung.....	49
Abbildung 3.3-13: Datenstruktur der Massenflüsse für die PVC-Beschichtung mit zusätzlichem PVC-Vorstrich	50
Abbildung 3.3-14: Datenstruktur der Massenflüsse für die Bitumenbeschichtung.....	52
Abbildung 3.3-15: Stoffmengen für Trägermaterialien	57
Abbildung 3.3-16: Datenstruktur der Massenflüsse für Tuftingträger auf Gewebebasis	58
Abbildung 3.3-17: Datenstruktur der Massenflüsse für Träger auf Vliesbasis	59
Abbildung 3.3-18: Datenstruktur der Massenflüsse für die Berechnung im Bereich der BCF-Garne	61

Abbildung 3.3-19:	Datenstruktur der Massenflüsse für Stapelfasergarne.....	62
Abbildung 3.3-20:	Stoffflussdiagramm der Tuftingrohware in kt/a	64
Abbildung 3.3-21:	Aufteilung der Avivagen nach Stoffgruppen und Einzelsubstanzen	66
Abbildung 3.3-22:	Aufteilung der Additive in Untergruppen	66
Abbildung 3.3-23:	Strukturformeln einiger Antioxidantien, die unter dem Sammelbegriff „Irganox“ als Handelsprodukt erhältlich sind.....	67
Abbildung 3.3-24:	Stoffflussdiagramm der Tuftingteppiche in kt/a.....	70
Abbildung 3.3-25:	Datenstruktur der Massenflüsse für die Nadelvliesproduktion.....	73
Abbildung 3.3-26:	Stoffflussdiagramm der Nadelvliese in kt/a.....	75
Abbildung 3.3-27:	Datenstruktur der Massenflüsse für Webwaren.....	77
Abbildung 3.3-28:	Stoffflussdiagramm der Webwaren in kt/a	79
Abbildung 3.3-29:	Berechnungsschema für den Eintrag von Farbmitteln in den Vorfluter durch den Färbeprozess	83
Abbildung 3.3-30:	Datenstruktur der Massenflüsse für den Wassereinsatz im Bereich der Rückenbeschichtung bei Tuftingartikeln.....	86
Abbildung 3.3-31:	Datenstruktur der Massenflüsse für den Wasserverbrauch der Färbeverfahren bezogen auf die Menge getufteter Bodenbeläge	87
Abbildung 3.3-32:	Stoffflussdiagramm für den Wasserverbrauch beim Färben von Tuftingartikeln in Mio. l/a	90
Abbildung 3.3-33:	Stoffflussdiagramm für den Wasserverbrauch beim Beschichten von Tuftingartikeln in Mio. l/a	91
Abbildung 3.3-34:	Stoffflussdiagramm für den Wasserverbrauch Tufting gesamt in Mio. l/a.....	92
Abbildung 3.3-35:	Stoffflussdiagramm für den Wasserverbrauch für Nadelvliese in Mio. l/a	93
Abbildung 3.3-36:	Stoffflussdiagramm für den Wasserverbrauch für Webwaren in Mio. l/a	94
Abbildung 3.3-37:	Stoffflussdiagramm für den Gesamtwasserverbrauch bei der Herstellung textiler Bodenbeläge in Mio. l/a.....	95
Abbildung 3.3-38:	Datenstruktur der Massenflüsse zur Ermittlung des Energiebedarfs bei der Produktion von Tuftingartikeln	97
Abbildung 3.3-39:	Datenstruktur der Massenflüsse zur Ermittlung des Energiebedarfs bei der Herstellung von Nadelvliesen	98
Abbildung 3.3-40:	Datenstruktur der Massenflüsse zur Ermittlung des Energiebedarfs bei der Herstellung von Webwaren	99
Abbildung 3.3-41:	Stoffflussdiagramm für den Gesamtenergiebedarf bei der Herstellung textiler Bodenbeläge in TJ/a	102

Abbildung 4.1-1: Schematischer Konzentrationsverlauf von verschiedenen Einzel substanzen in Prüfkammern. Die einzelnen Substanzen haben nicht dieselbe Emissionsstärke und dasselbe Abklingverhalten.....	117
Abbildung 4.1-2: Graphische Darstellung der berechneten und abgeschätzten Emissionsmengen organischer Komponenten aus produktionsfrischen textilen Bodenbelägen	118
Abbildung 4.2-1: Typischer Konzentrationsverlauf vor und nach der Verklebung eines textilen Belages mit sehr emissionsarmem, hochsiederfreiem Klebstoff	122
Abbildung 4.2-2: Beobachtete Konzentrationen in einem Büroraum nach Verlegung eines textilen Bodenbelags mit einem kolophonium haltigem Klebstoff	123
Abbildung 4.2-3: Beobachtete Konzentrationen in einem Büroraum nach Verlegen eines textilen Belages mit einem verstärkt hochsiederhaltigen Klebstoff.....	124
Abbildung 5.2-1: Ableitung von Innenraumwerten: Richtwert (RW II)	138
Abbildung 8.1-1: Verbrauch an Fasermaterialien für die EU-Teppichproduktion (1995).....	168
Abbildung 8.1-2: Verbrauch an nicht faserartigen Materialien für die EU- Teppichproduktion (1995).....	169

13. TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 3.2-1:	Tabelle A 10 aus: „ Die Heimtextilien-Industrie in Zahlen“.....	27
Tabelle 3.2-2:	Tabelle A 12 aus: „Die Heimtextilien-Industrie in Zahlen“	28
Tabelle 3.2-3:	Tabelle A 8 aus: „Die Heimtextilien-Industrie in Zahlen“	29
Tabelle 3.3-1:	Zusammenfassung der Ergebnisse des Teilstoffstromes für Non-Gel Schaumbeschichtungen	40
Tabelle 3.3-2:	Zusammenfassung der Ergebnisse des Teilstoffstromes für NSF-gelierte Schaumbeschichtungen	42
Tabelle 3.3-3:	Zusammenfassung der Ergebnisse des Teilstoffstromes für Ammonacetat gelierte Schaumbeschichtungen.....	44
Tabelle 3.3-4:	Zusammenfassung der Ergebnisse des Teilstoffstromes für die Textilrückenbeschichtung	48
Tabelle 3.3-5:	Zusammenfassung der Ergebnisse der Teilstoffströme für die PVC-Schwerbeschichtung	51
Tabelle 3.3-6:	Zusammenfassung der Ergebnisse des Teilstoffstromes für die Bitumen-Schwerbeschichtung	52
Tabelle 3.3-7:	Zusammenfassung nicht-spezifizierbarer Rückenbeschichtungen.....	53
Tabelle 3.3-8:	Alphabetischer Überblick für die Materialmengen im Bereich der Schaumbeschichtung	54
Tabelle 3.3-9:	Alphabetischer Überblick für die Materialmengen im Bereich der Textilrückenbeschichtung	55
Tabelle 3.3-10:	Alphabetischer Überblick für die Materialmengen im Bereich der PVC-Schwerbeschichtung	55
Tabelle 3.3-11:	Alphabetischer Überblick für die Materialmengen im Bereich der Bitumen-Schwerbeschichtung	56
Tabelle 3.3-12:	Alphabetischer Überblick für die Materialmengen im Bereich der nicht spezifizierten Rücken	56
Tabelle 3.3-13:	Zusammenfassung der Einzelstoffströme für den Bereich der Gewebe- und Vlies-Träger.....	60
Tabelle 3.3-14:	Alphabetischer Überblick für die Materialmengen im Bereich der Tuftingträger	60
Tabelle 3.3-15:	Teilstoffströme für Polmaterialien	63
Tabelle 3.3-16:	Zusammensetzung der Polmaterialien	65

Tabelle 3.3-17:	Strukturierter Überblick der im Bereich Tufting anfallenden Hauptstoffströme.....	69
Tabelle 3.3-18:	Alphabetischer Überblick für die Stoffströme im Bereich der Tuftingartikel	71
Tabelle 3.3-19:	Materialströme im Bereich der Nadelvliesproduktion.....	74
Tabelle 3.3-20:	Materialmengen im Bereich der Webwarenproduktion	78
Tabelle 3.3-21:	Typische Faserverteilung in der Polschicht textiler Bodenbeläge.....	80
Tabelle 3.3-22:	Prinzipielle Zusammensetzung der Farbstoffe *	81
Tabelle 3.3-23:	Fremdchemikalien in der Teppichbodenveredlung*.....	81
Tabelle 3.3-24:	Prinzipielle Zusammensetzung von Färbeflotten *	81
Tabelle 3.3-25:	Richtrezepturen für Farbgebungsverfahren	82
Tabelle 3.3-26:	Chemikalien bei der Herstellung und Färbung von Teppichböden: Einsatzmengen und Konzentrationen in Kläranlage und Vorfluter	84
Tabelle 3.3-27:	Wassereinsatz beim Färben von Tuftingartikeln.....	87
Tabelle 3.3-28:	Wassereinsatz bei der Beschichtung von Tuftingartikeln	88
Tabelle 3.3-29:	Wassereinsatz bei der Nadelvliesproduktion	88
Tabelle 3.3-30:	Wassereinsatz im Bereich der Webwarenproduktion	89
Tabelle 3.3-31:	Zusammenfassung der verbrauchten Wassermengen für die Teppichproduktion	89
Tabelle 3.3-32:	Endenergiebedarf bei der Produktion von Tuftingbelägen.....	100
Tabelle 3.3-33:	Energiebedarf bei der Nadelvliesproduktion	101
Tabelle 3.3-34:	Energiebedarf bei der Herstellung von Webwaren	101
Tabelle 3.4-1:	Liste der bei 41 Emissionsmessungen an textilen Bodenbelägen-Beschichtungsanlagen zwischen 1992 und 1995 gefundenen Substanzen . (In der Spalte Summe ist die Anzahl der einzelnen Nennungen aufgelistet).....	106
Tabelle 3.4-2:	Relevante Substanzen in den Emissionen von Teppichbodenbeschichtungsanlagen	107
Tabelle 4.1-1:	Prüfkammerkonzentrationen und Emissionen (1997) von Bodenbelägen mit Textilrücken zeitnah zur Produktion ermittelt durch Prüfkammermessung des TFI *	111
Tabelle 4.1-2:	Prüfkammerkonzentrationen und Emissionen (1997) von Bodenbelägen mit Schaumrücken zeitnah zur Produktion ermittelt durch Prüfkammermessung des TFI *	112

Tabelle 4.1-3:	Prüfkammerkonzentrationen und Emissionen (1997) von Nadelvliesbelägen zeitnah zur Produktion ermittelt durch Prüfkammermessung des TFI *	113
Tabelle 4.1-4:	Prüfkammerkonzentrationen und Emissionen (1997) von Webwaren zeitnah zur Produktion ermittelt durch Prüfkammermessung des TFI *	114
Tabelle 4.1-5:	Mittlere Emissionsraten verschiedener Textilbelagskonstruktionen	115
Tabelle 4.2-1:	Flüchtige organische Verbindungen in Dispersionsklebstoffen	121
Tabelle 4.2-2:	Klassifizierung von organischen Verbindungen in der Innenraumluft.....	122
Tabelle 5.1-1:	Messungen ohne Lüftung in den Jahren 1994-1998 (Quelle: Miljö-Chemie 1999)	128
Tabelle 5.1-2:	Emissionsdaten aus Teppichböden	132
Tabelle 5.2-1:	Emissionsdaten aus Teppichböden / Abschätzung	135
Tabelle 5.2-2:	Emissionsdaten aus Teppichböden / Abschätzung / "Ranking"	140