

Sächsisches Landesamt
für Umwelt, Landwirtschaft und
Geologie
Referat Boden, Altlasten

Branchenbezogene Merkblätter
zur Altlastenbehandlung
**23: Papier- und zellstoffherstel-
lende Industrie**

Stand: 11/2016
Bearbeiter: C&E – Consul-
ting und Engineering GmbH
Seiten: 16

1 Branchentypisches Schadstoffpotential

1.1 Gesetzliche Grundlagen

Für die papier- und zellstoffherstellende Industrie waren auf dem Gebiet der ehemaligen DDR folgende TGL-Richtlinien relevant:

- TGL 8-3018 Papier für Verpackungszwecke. Einschlagpapier
- TGL 8-3032 Papier für Sonderzwecke. Tapeten-Rohpapier
- TGL 9-18 Wellpappe und Erzeugnisse aus Wellpappe. Lieferart. Lagerung. Transport
- TGL 95-15 Mineralische Rohstoffe. Kaolin geschlämmt für die Papierindustrie
- TGL 2751 1. Änderung: Sekundärrohstoffe. Altpapier
- TGL 4684 Transparent - Zeichenpapier
- TGL 12254/02 Papier für Druckzwecke. Werkdruckpapier. Technische Bedingungen
- TGL 12256/02 Papier für Druckzwecke. Illustrationsdruckpapier. Technische Bedingungen
- TGL 21510 Prüfung von Zellstoff, Papier und Karton. Bestimmung des Chloridgehaltes
- TGL 22139 Lichtpauspapier für Trockenentwicklung. Technische Bedingungen
- TGL 24357/02: Papier für Druckzwecke. Dickdruckpapier. Technische Forderungen für Buchdruck
- TGL 24553/02: Papier für Druckzwecke. Dünndruckpapier. Technische Bedingungen
- TGL 26565/08: Wirtschaftliche Wassernutzung. Normen für Wasserentnahme und -bedarf. Zellstoff-, Papier-, Pappen- und Faserplattenindustrie
- TGL 26990 Papier für Sonderzwecke. Lichtpausrohpapier
- TGL 28385/03 Fotorohpapier für Schwarz-weiß-Fotografie. Prüfung für unbarytirtes Fotorohpapier
- TGL 28996/01 Papier für Druckzwecke. Maschinengestrichenes Tiefdruckpapier. Technische Forderungen
- TGL 28996 Papier für Druckzwecke. Tiefdruckpapier, holzhaltig maschinengestrichen
- TGL 29234 Vervielfältigungspapier mit Spezialstrich. Offsetdruckfolie aus Papier
- TGL 30386/01 Gesundheits- und Arbeitsschutz. Brandschutz. Zellstoff- und Papierherstellung. Sicherheitstechnische Forderungen
- TGL 30386/02 Gesundheits- und Arbeitsschutz. Brandschutz. Zellstoff- und Papierherstellung. Arbeitsschutz- und brandschutzgerechtes Verhalten
- TGL 33793 Zinkoxidpapier für elektrofotografische Zwecke
- TGL 36466 Zeichenpapier und -karton
- TGL 37886/02 Papier für Druckzwecke. Tiefdruckpapier, holzhaltig. Technische Bedingungen
- TGL 38292 Papier für Druckzwecke. AROS-Papier
- TGL 43567 Füllstoff- und Streichkaolin für die Papierindustrie. Bestimmung des Weißgrades von Kaolingranulat

Für die Bearbeitung von Altlastenverdachtsflächen an Standorten der papier- und zellstoffherstellenden Industrie können insbesondere folgende DIN-Normen relevant sein:

- DIN 19302 Packstoffe - Papiere für allgemeine Verpackungszwecke - Anforderungen, Prüfung
- DIN 19303 Karton - Begriffe und Sorteneinteilungen
- DIN 19306 Papier - Druckpapiere
- DIN 19307 Pappe und Papier - Büropapier, ungestrichen, unbeschichtet - Anforderungen, Prüfung

- DIN 53114 Papier, Pappe und Zellstoff; Bestimmung der Leitfähigkeit von wässrigen Extrakten; ISO 6587:1980 modifiziert
- DIN 53124 Papier, Pappe und Zellstoff - Bestimmung des pH-Wertes in wässrigen Extrakten
- DIN 53125 Prüfung von Papier und Pappe - Bestimmung des Chloridgehaltes in wässrigen Extrakten
- DIN 53127 Prüfung von Papier und Pappe - Bestimmung wasserlöslicher Sulfate in Papier und Pappe
- DIN 54360 Faserstoff - Labormahlung - Jokro-Mühle-Verfahren
- DIN 54361 Prüfung von Zellstoff; Bestimmung des Pentosangehaltes, Furfurol-Verfahren
- DIN 54363 Prüfung von Zellstoff und Papier; Bestimmung der Gehalte an Eisen, Mangan, Kupfer, Calcium und Magnesium, Bestimmung durch Atomabsorptionsspektroskopie (AAS)
- DIN 54370 Prüfung von Papier und Pappe - Bestimmung des Glührückstandes
- DIN 54372 Prüfung von Zellstoff und Papier; Bestimmung des Calcium- und Magnesiumgehaltes; Titrimetrische Bestimmung
- DIN 54373 Prüfung von Zellstoff, Papier und Pappe; Bestimmung des säureunlöslichen Anteils im Glührückstand
- DIN 54377 Prüfung von Zellstoff und Papier; Bestimmung des Gehaltes an Silicium(IV)-oxid
- DIN 54378 Prüfung von Papier, Karton und Pappe; Bestimmung der Oberflächenkolonienzahl (OKZs)
- DIN 54379 Prüfung von Papier, Karton und Pappe; Bestimmung der Gesamtkolonienzahl (GKZ)
- DIN 54383 Prüfung von Papier, Karton und Pappe; Bestimmung von Clostridien sporen
- DIN 54386 Prüfung von Papier, Pappe und Zellstoff; Photometrische Bestimmung des Kupfergehaltes mit Bathocuproin; Bestimmung nach Salpetersäureaufschluss
- DIN 54600 Prüfung von Papier und Pappe; Prüfung auf antimikrobielle Zusatzstoffe
 - Teil 1 Bestimmung des Gehaltes an Tetramethylthiuramdisulfid (TMTD)
 - Teil 8 Bestimmung des Gehaltes an Methylen-bis-thiocyanat
- DIN 54603 Prüfung von Papier, Karton und Pappe - Bestimmung des Gehaltes an Glyoxal
- DIN 54604 Prüfung von Papier und Pappe; Bestimmung des Gehaltes an Stärke
 - Teil 1 Enzymatische Bestimmung von nativer Stärke
- DIN 54605 Prüfung von Zellstoff, Papier und Pappe; AAS-Bestimmung des Gehaltes an Cadmium
- DIN 55626 Füllstoffe und Pigmente für Papier und Pappe - Anforderungen und Prüfverfahren
 - Teil 4 Kreide
 - Teil 5 Natürliches kristallines Calciumcarbonat
 - Teil 6 Gefälltes Calciumcarbonat
- DIN EN 643 Papier und Pappe - Europäische Liste der Standardsorten für Altpapier und Pappe
- DIN EN 645 Papier und Pappe vorgesehen für den Kontakt mit Lebensmitteln; Herstellung eines Kaltwasserextraktes
- DIN EN 646 Papier und Pappe vorgesehen für den Kontakt mit Lebensmitteln - Bestimmung der Farbechtheit von gefärbtem Papier und Pappe
- DIN EN 648 Papier und Pappe vorgesehen für den Kontakt mit Lebensmitteln - Bestimmung der Farbechtheit von optisch aufgehelltem Papier und Pappe
- DIN EN 1104 Papier und Pappe vorgesehen für den Kontakt mit Lebensmitteln - Bestimmung des Übergangs antimikrobieller Bestandteile
- DIN EN 14719 Faserstoff, Papier und Karton - Bestimmung des Gehaltes an Diisopropyl-naphthalin (DIPN) mittels Lösemittel-extraktion

1.2 Einteilung

Die Branche „Papierherzeugung“ wird in die Sparten „Herstellung von Holz- und Zellstoff“ und „Herstellung von Papier, Karton und Pappe“ unterteilt. Innerhalb der Branche betragen Umsatz- und Beschäftigtenanteil für die Sparte „Herstellung von Holz- und Zellstoff“ jeweils nur etwa 5 % und für die Sparte „Herstellung von Papier, Karton und Pappe“ rund 95 % (DISPAN, 2013). Häufig sind beide Sparten an einem Standort in sog. integrierter Produktion kombiniert.

Unterschieden wird zwischen den Hauptprodukten:

- Verpackungspapiere
- Grafische Papiere: Druck- und Schreibpapiere wie Zeitungsdruckpapier, Buchdruckpapier, Tiefdruckpapier und Offsetpapier
- Spezialpapiere wie z. B. Dekorpapier, Elektroisolierpapier, Etikettenpapier, Filtrierpapier, Fotopapier, Karosseriepappe, Selbstdurchschreibepapier, Silikonpapier und Thermopapier
- Hygienepapiere wie Zellstoffwatte, Tissue und Krepp-Hygienepapier aus denen Toilettenpapier, Taschentüchern, Küchentüchern, Handtüchern usw. hergestellt werden.

Zudem sind die Technologien abhängig davon, ob Primärrohstoffe (Holz- und Zellstoff) oder Sekundärrohstoffe (Altpapier) eingesetzt werden.

1.3 Technologie

1.3.1 Rohstoffherzeugung

Holzstoff

Unter Holzstoff versteht man den durch Zerkleinerung von Holz gewonnenen Faserstoff. Da die Holzstoffherzeugung ein rein mechanischer Prozess ist (wobei je nach Verfahren auch chemische Prozesse eine Rolle spielen können), besitzen Holzstoffe noch alle Bestandteile des Holzes wie Lignin, Hemicellulosen und Cellulosen. Dadurch hat aus Holzstoff hergestelltes Papier eine Neigung zu Vergilbung und Brüchigwerden. Holzstoff wird als Rohstoff für holzhaltige Papiere und Kartons verwendet. Trotz der negativen Eigenschaften des Holzstoffes auf das Papier werden aufgrund der hohen Rohstoffausbeute große Mengen nichtpermanenter Druck- und Schreibpapiere aus Holzstoff hergestellt.

Für die Holzstoffherzeugung stehen das Stein-Verfahren (Holzschliff) und der Refiner-Holzschliff zur Verfügung.

- *Stein-Verfahren (Holzschliff)*

Das Prinzip des Stein-Verfahrens besteht darin, dass das Rundholz unter spezifischen Bedingungen von Druck und Temperatur gegen einen rotierenden Schleiferstein gepresst wird. Durch Zugabe von Wasser und durch die starke Reibung zwischen Stein und Holz werden die Fasern aus dem Holzverband herausgerissen und dabei je nach Beschaffenheit der Steinoberfläche gequetscht, geritzt, gedrückt, aufgerissen oder abgeschert und in einer zweiten Phase des Schleifprozesses noch weiter fibrilliert und zerkleinert (WALENSKI, 1996).

Weiterentwicklungen des Stein-Verfahrens sind das Thermoschleifverfahren (TGW: Thermo-Groundwood), bei dem das Holz unter drucklosem Dampfabschluss bei Temperaturen unter 100°C geschliffen wird und das Druckschleifverfahren (PGW: Pressure Groundwood) bei dem mit Überdruck und höheren Temperaturen gearbeitet wird.

- *Refiner-Holzschliff*

Bei diesem Verfahren wird der Holzstoff durch die mechanische Zerkleinerung von Hackschnitzeln in einem Scheibenrefiner erzeugt. Der Scheibenrefiner besteht aus geriffelten, rotierenden Mahlplatten aus Stahl oder Guss. Dabei können auch Holzreste und Sägewerksabfälle verwendet werden. Der entstehende Faserstoff hat einen hohen Langfaseranteil und ist hinsichtlich seiner Qualität über einen längeren Zeitraum konstant als es beim Holzschliff der Fall ist (BLECHSCHMIDT, 2010). Zur Herstellung von Refinerholzstoff gibt es drei Möglichkeiten:

- RMP (Refiner Mechanical Pulp): Hackschnitzel werden ohne Vorbehandlung zwischen geriffelten, rotierenden Mahlplatten geschliffen.
- TMP (Thermo Mechanical Pulp): Die Hackschnitzel werden bei erhöhtem Druck und bei Temperaturen zwischen 120 bis 130 °C geschliffen. Dabei können sowohl Nadel- als auch Laubhölzer verwendet werden.

- CTMP (Chemo-Thermo-Mechanical Pulp): Die Hackschnitzel werden zur Aufweichung des Lignins chemisch vorbehandelt. Dazu werden z. B. Natriumsulfit, Natronlauge oder Natriumperoxid verwendet (BLECHSCHMIDT, 2010; WALENSKI, 1994).

- *Aufbereitung des Holzstoffes und Bleiche*

Vor der Verwendung zur Papierherstellung wird der Holzstoff in verschiedenen Reinigungsanlagen gereinigt und unerwünschte Bestandteile wie Splitter, Sand, Steinabrieb oder kleine Holzstücke entfernt.

Um einen höheren Weißheitsgrad zu erreichen, muss der Holzstoff zur Entfärbung des Lignins gebleicht werden. Dabei können mehrere Verfahren zur Anwendung kommen: Zum einen die reduzierende Hydro-sulfitbleiche unter Verwendung von Bisulfit oder Dithionit und zum anderen die oxidierende Bleiche mit Wasserstoffperoxid, welche in alkalischem Medium angewendet wird. Beide Verfahren können einzeln oder in Kombination angewendet werden.

Zellstoff

Zellstoff wird durch den chemischen Aufschluss von Fasermaterial gewonnen. Dabei werden das in den Fasern enthaltene Lignin und die Hemicellulose herausgelöst. Der Hauptbestandteil des Zellstoffs ist Cellulose. Zur Zellstoffgewinnung sind alle Pflanzenmaterialien geeignet, die einen ausreichenden Cellulosegehalt besitzen. Neben Nadel- und Laubhölzern sind auch verschiedene Einjahrespflanzen zur Zellstoffherstellung geeignet. Je nach Rohstoff unterscheidet man zwischen Holz-Zellstoff, Stroh-Zellstoff, Schilf-Zellstoff, usw. Zur Gewinnung von Zellstoff stehen mehrere Produktionsverfahren zur Verfügung:

- *Sulfitverfahren*

Sulfitzellstoff wird mit sulfithaltiger Kochflüssigkeit durch chemischen Aufschluss von Fasermaterial hergestellt.

Beim Sulfitaufschluss wird das Fasermaterial in einer Lösung von Calcium-, Magnesium- oder Natrium-, Hydrogensulfiten oder -Sulfiten, je nach Verfahren unter Zusatz von SO_2 , gekocht. Als Base werden Calcium, Magnesium Natrium oder Ammonium verwendet. Man unterscheidet zwischen mehreren Verfahren, die sich im pH-Wert der Kochlösung unterscheiden:

- saurer Sulfitaufschluss (Verwendung von Bisulfit, SO_2 und Calcium (CaO bzw. Ca(OH)_2))
- Bisulfitaufschluss (Verwendung von Bisulfit und Magnesium (MgO bzw. Mg(OH)_2))
- neutraler Sulfitaufschluss (Verwendung von Na_2SO_3 und Na_2CO_3 und Magnesium oder Ammonium (NH_3 oder NH_4OH))
- alkalischer Sulfitaufschluss (Verwendung von Na_2SO_3 und NaOH).

Zurzeit dominiert das saure Bisulfitverfahren unter Verwendung von MgO , da hier das MgO und das SO_2 zurückgewonnen werden können.

Während des Kochvorgangs geht das hydrophobe Lignin durch die Einwirkung von Bisulfit-Ionen und Wasserstoff-Ionen in Lösung über. Durch Zugabe der Base wird der pH-Wert reguliert. Die verbrauchte Sulfitablauge wird entweder weiterverwertet z. B. als Ethylalkohol oder Futterhefe oder regeneriert. Dazu werden zunächst die gelösten Faserbestandteile aus der Ablauge entfernt und diese eingedampft. Durch die Verbrennung des Trockenrückstands werden organische Substanzen abgebaut und die anorganischen Bestandteile zurückgewonnen.

- *Sulfatverfahren*

Beim Sulfatverfahren erfolgt der Aufschluss bei erhöhtem Druck in einer alkalischen Kochflüssigkeit, die Natronlauge und Natriumsulfid und Natriumsulfat enthält. In der Kochlauge wird das Lignin gespalten und geht in die sogenannte Schwarzlauge über. Gleichzeitig erfolgt eine alkalische Hydrolyse von Kohlenhydraten, das Herauslösen kurzkettiger Hemicellulosen und eine teilweise Retention von Xylan an der Faseroberfläche (BLECHSCHMIDT, 2010). Zur Wiedergewinnung der Kochlauge wird die Ablauge eingedampft und verbrannt, wodurch Natriumsulfid entsteht und schließlich wird durch die Kaustifizierung Natriumcarbonat wieder in Natriumhydroxid umgewandelt (BLECHSCHMIDT, 2010).

Obwohl es weltweit das bedeutendste Verfahren zur Zellstoffproduktion ist, konnte sich das Sulfatverfahren in Deutschland aufgrund der starken Umweltbelastungen (Geruch) nicht durchsetzen (WALENSKI, 1994).

- *Bleichung des Zellstoffs*

Zur Entfernung des Restlignins aus dem Zellstoff sind mehrere Bleichstufen und alkalische Extraktionsstufen notwendig. Das effektivste Bleichmittel war über lange Zeit Chlor. Aufgrund der hohen Umweltbelastung durch chlorierte Verbindungen (z. B. Dioxine und Furane) wurde die Chlorstufe bei der Bleichung entfernt. Dafür wurde die ECF-Bleiche (elemental chlorine free) eingeführt, bei der Chlordioxid oder Hypochlorit verwendet werden. Bei der Chlordioxidbleiche treten primär keine chlorierten organischen Produkte auf, allerdings führt intermediär gebildetes Chlor bzw. Hypochlorit in begrenztem Ausmaß zur Bildung von chlorierten Verbindungen (BLECHSCHMIDT, 2010). Alternativ dazu gibt es TCF-Bleichen (totally chlorine free), welche vollkommen ohne chlorhaltige Bleichmittel arbeiteten und bei denen stattdessen Sauerstoff, Wasserstoffperoxid, Ozon und Peressigsäure verwendet werden. So konnte die Abwasserlast und der Wasserbedarf drastisch gesenkt werden (WALENSKI, 1994). Für Spezialzwecke werden auch reduzierende Bleichmittel wie z. B. Natriumdithionat, Zinkdithionat oder Natriumhydrogensulfit verwendet.

Altpapier

In Deutschland ist Altpapier der mengenmäßig bedeutendste Faserstoff. Verfahrensweisen und Umfang der Aufbereitung von Altpapier richten sich nach der Papierqualität, die produziert werden soll.

Das Altpapier wird zunächst in Stofflösern (Pulper) unter Zugabe von Wasser faserschonend aufgelöst (Suspendierung) und zerfasert. Durch verschiedene mechanische Verfahren werden die sogenannten Spuckstoffe, also Fremdstoffe wie Heftklammern, Stoffreste, Schnüre oder Folien aus der Faserstoffsuspension entfernt. Um Druckfarben möglichst vollständig aus dem Papier zu entfernen, werden zwei unterschiedliche Deinkingverfahren genutzt:

- **Deinking-Waschverfahren:** Die Druckfarben werden beim Aufschlagen des Altpapiers dispergiert und in nachgeschalteten Entwässerungsstufen mittels Sieben oder Entwässerungsschnecken entfernt.
- **Deinking-Flotationsverfahren:** Die Druckfarben werden mit Deinking-Chemikalien (Natronlauge, Peroxid, Wasserglas, Seife) vom aufgelösten Altpapier gelöst. Durch das Einblasen von Luft in die Stoffsuspension lagern sich die hydrophoben Druckfarbenteilchen an den Luftbläschen an, schwimmen auf und werden abgeschöpft.

In Europa ist aufgrund des geringeren Wasserverbrauchs und der geringeren Faserstoffverluste das Flotationsverfahren gebräuchlich (WALENSKI, 1994).

Neben der Abtrennung der Farbpigmente aus den Altpapierfasern werden beim Deinking auch Faser- und Füllstoffe abgeschieden. Deinkingschlämme können zum Beispiel Cyanide („Berliner Blau“ aus Druckfarben), Kohlenwasserstoffe, Schwermetalle und Organohalogenverbindungen enthalten.

Zur Bleichung des Altpapierstoffes werden Wasserstoffperoxid, Natriumdithionit oder Formamidinsulfinsäure verwendet.

1.3.2 Stoffaufbereitung

Die aus den Primär- oder Sekundärrohstoffen hergestellten Faserstoffe (Halbstoffe) müssen, bevor sie in die Papiermaschine gelangen, aufbereitet werden. Dieser Prozess wird als Ganzstoffaufbereitung bezeichnet. Zunächst werden die Faserballen im Pulper suspendiert indem der Faserstoff durch Verwirbelung in die Einzelfasern zerlegt und gemahlen wird, wobei ein Brei entsteht, der zu 5 % aus Faserstoff und zu 95 % aus Wasser besteht (WALENSKI, 1994). Es wird zwischen den Mahlzuständen wenig gekürzter Faserstoff, gekürzter Faserstoff, gequetschter Faserstoff sowie gequetschter und gekürzter Faserstoff unterschieden. Der Bearbeitungszustand wird als Mahlgrad bezeichnet und hat eine ausschlaggebende Auswirkung auf die Qualität des Papiers, zum Beispiel auf die Falz-, Berst- und Reißfestigkeit sowie die Durchsicht und die Fettdichtigkeit (WALENSKI, 1994). Zur Mahlung wurden früher Holländer verwendet. Heute sind Refiner gebräuchlich, in denen die Faserstoffsuspension in einem mit Messern ausgekleideten Gehäuse, in dem ein ebenfalls mit Messern bestückter Kegel rotiert, gequetscht oder gekürzt werden.

Bei der Stoffaufbereitung werden den Faserstoffen verschiedene Zusatzstoffe (Additive) und Hilfsstoffe zugegeben. Mit den Zusatzstoffen können die Eigenschaften und die Qualität des Papiers je nach vorgesehener Verwendung optimiert werden. Daneben werden Hilfsstoffe angewandt um den Produktionsprozess zu verbessern und Fabrikationsschwierigkeiten zu vermeiden. Außerdem werden dem Halbstoff Füllstoffe, Farbstoffe, optische Aufheller, Leimungsstoffe usw. zugegeben (WALENSKI, 1994).

1.3.3 Papierherstellung

Verwendet werden in der Regel Langsiebpapiermaschinen, bei denen auf einem horizontalen endlos laufenden Sieb das Papier entsteht. Die Papierherstellung besteht aus folgenden Schritten:

1. Stoffauflauf: Nach Reinigung der Fasersuspension vor groben Verunreinigungen wird diese über Düsen auf den Sieb verteilt
2. Siebpartie: Hier erfolgt die Bildung der Papierbahn. Das Wasser läuft nach unten ab (Entwässerung). Dabei wird eine möglichst hohe Retention, d. h. ein geringer Verlust von Feststoffen angestrebt.
3. Pressenpartie (Nasspressung): Weitere mechanische Entwässerung und Verdichtung der Faserbahn durch Pressdruck und Vakuum.
4. Trockenpartie: Das Papier wird an mit Dampf oder Warmluft beheizten Walzen gedrückt und so weiter getrocknet.
5. Leimpresse: Eine Leimlösung, bestehend aus Stärke, Proteinen oder Kunststoffdispersionen, wird über Walzen auf das Papier gebracht. Die Leimung dient zur Erhöhung der Papierfestigkeit und Änderung der Oberflächeneigenschaften
6. Glättwerk: Zur Veränderung der Oberflächenqualität (Glätte, Glanz, Dicke) wird die Papierbahn durch ein oder mehrere Walzenspalten (Kalander) geführt. Die Ausführung hängt von der gewünschten Papierqualität ab.
7. Aufrollung: Mit der Aufrollung des Papiers auf einen Stahlkern (Tambour) ist die Herstellung des Papiers abgeschlossen.

1.4 Schadstoffe

1.4.1 Verwendete Chemikalien

In der papier- und zellstoffherstellenden Industrie finden 2.000 bis 3.000 Stoffe Verwendung (ATMATZIDIS, 1995). Diese werden in der Rohstoffherzeugung oder bei der Stoffaufbereitung als Zusatzstoff (Additive) zum Erreichen der gewünschten Papiereigenschaften oder als Hilfsstoff zur Verbesserung des Produktionsprozesses eingesetzt. Einen Überblick über die bei den verschiedenen Verfahren zur Rohstoffherzeugung typischerweise verwendeten Chemikalien enthält Tabelle 1.

Tabelle 1: typische Chemikalien bei der Rohstoffherzeugung

Rohstoff	Verfahren	Verwendete Chemikalien bei der Rohstoffherzeugung	Verwendete Chemikalien bei der Bleiche
Holzstoff	Holzschliff, RMP, TMP	-	Natriumdithionit, Natriumhydrosulfit, Natrium- und Wasserstoffperoxid, bei Letzterem zusätzlich Stabilisatoren (Natriumsilikat) und Komplexbildner (z. B. EDTA, NTA)
	CTMP	NaSO ₃ , H ₂ CO ₃ , NaOH	
Zellstoff	Sulfitverfahren	<ul style="list-style-type: none"> • Saurer Sulfitaufschluss HSO₃⁻, SO₂, CaO, Ca(OH)₂ • Bisulfitaufschluss HSO₃⁻, MgO, Mg(OH)₂ • neutraler Sulfitaufschluss Na₂SO₃, Na₂CO₃, MgO, Mg(OH)₂, NH₃, NH₄OH • Alkalischer Sulfitaufschluss Na₂SO₃, NaOH 	Chlorbleiche Cl ECF-Bleiche ClO ₂ , OCl ⁻ TCF-Bleiche O ₂ , H ₂ O ₂ , O ₃ , Peressigsäure, Natriumdithionat, Zinkdithionat oder Natriumhydrogensulfit
	Sulfatverfahren	NaOH, Na ₂ S, Na ₂ SO ₄	
Altpapier		NaOH, Flotationshilfsmittel (anionische Tenside), Wasserglas, Komplexbildner, Emulgatoren (Fettalkoholpolyglycoäther) Sammlermittel (Fettsäure oder Seife)	Wasserstoffperoxid, Natriumdithionit, Formamidinsulfinsäure

Tabelle 2 zeigt die wichtigsten Chemikalien, die in der Stoffaufbereitung eingesetzt werden.

Tabelle 2: typische Zusatzstoffe und Hilfsstoffe bei der Stoffaufbereitung

Stoffgruppe	Verwendung / Wirkung	Verwendete Chemikalien
Füllstoff / Weißpigment	Verdichtung des Papiers, Glättung der Oberfläche, Verbesserung der Beschreib- und Bedruckbarkeit	Calciumcarbonat, Kaolin, Talkum, Kalzinierte Kaoline, Titandioxid, Gips, Asbestine, Aluminiumtrihydroxid, Blanc fix (Bariumsulfat), Satinweiß, Silica, modifizierte Calciumcarbonate, Plastikpigmente
Dispergiermittel	Verhinderung von Agglomeration und Clusterbildung im Halbstoff	Polyphosphate, Polyacrylate
Retentionsmittel	Retention von Additiven und Hilfsstoffen in der Papierbahn, Entwässerungsbeschleunigung	Aluminiumverbindungen, Polyaluminiumchloride, Polyacrylamide, (modifiziertes) Polyethylenimin, Polyvinylamine, Polyamidoamine, Polydiallyldimethylammoniumchlorid, Mikropartikelsysteme, Polyethylenoxid, modifizierte Stärke
Leimungsmittel	Verringerung der Saugfähigkeit des Papiers, Verbesserung der Beschreibbarkeit und der Tonerfixierung	Harzleimung unter Verwendung von Lösungsmitteln (Aluminiumsulfat, Aluminate oder Polyaluminiumchlorid) und Verschnittmittel (Paraffin, Wachs, Montanwachs, Stearin, Wasser, Tierleim, Stärke, Pflanzenschleime) Alkyletendimer unter Verwendung von Calciumcarbonat Alkenylbernsteinsäureanhydrid Polymerleimungsmittel: Styrol-Maleinsäurehydrid- Copolymerisate oder Polyethuran-Dispersion
Trockenverfestiger	Festigung des Papiergefüges, Steigerung der Papierfestigkeit bei wiederholten Altpapierverbrauch und zunehmenden Füllstoffgehalt	Stärke, Galaktomanane (Guar), Carboxymethylcellulose, Polyvinylalkohol, Alginate, Polyacrylamide
Nassfestmittel	Erhöhung der Festigkeit des Papiers im nassen Zustand; Verwendung bei Verpackungen, Tissuepapieren	Melaminharz, Epichlorhydrin-Harz, Glyoxal-Harz
Entschäumer / Entlüfter	Vermeidung von durch Schaum verursachten Produktionsproblemen	Aluminiumsulfat, Polyaluminiumchlorid, Bentonite, kationisch modifizierte Stärke, Carboxymethylcellulose, Polyacrylamide, Polyethylenimine, Polydiallyldimethylammoniumchlorid (polyDADMAC), Polyvinylamine, Polyethylenoxide
Optische Aufheller	Lassen das Papier weiß erscheinen	Derivate der Flavonsäure
Farbstoffe	Färbung des Papiers bzw. des Faserstoffs	Natürliche und synthetische anorganische Farbstoffe: z. B. Erdfarben oder Metallverbindungen wie Ultramarin, Berliner Blau, Chromgelb usw.) Natürliche organische Farbstoffe: Natur- und Pflanzenfarben) Synthetische organische Farbstoffe <ul style="list-style-type: none"> • Basische Farbstoffe: meist salzsaure Salze (Chloride, Oxalate oder Doppelzinksalze) von Farbstoffbasen z. B. Methylenblau, Triphenylmethanfarbstoffe wie Malachitgrün oder Kristallviolett • Saure Farbstoffe: meist Alkalisalze von Sulfonsäuren vor allem Azoverbindungen, Anthrachinon- und Triphenylmethanderivate, Resorcinfarbstoffe; z. B. Wasserblau; z. B. Anthracenblau, Chinolingelb, Eosin, Wasserblau; Verwendung von Fixiermitteln wie Alaun oder Kalzium- oder Aluminiumchlorid notwendig. • Substantive Farbstoffe: Natriumsalze von Azoverbindungen mit Sulfo- oder Carboxylgruppen, z. B. Papierdirektrot, Diamin-, Dianilin- und Oxaminfarbstoffe Pigmentfarbstoffe: wasserunlösliche Kristalle z. B. Litholechtgelb, Pigmentgrün
Biozide	Bekämpfung von Mikroorganismen im Wasserkreislauf zur Vermeidung von Schleimbildung und Gerüchen	gängige Inhaltsstoffe von Bioziden: 2,2-Dibrom-3-nitril-propionamid (DBNPA); 2-Brom-2-nitropropanediol (BNPD); Methylbisthiocyanat (MBT = MTC); Na-N,N-dimethyldithiocarbamat bzw. Di-Na-N,N-ethylenbisdithiocarbamat; Isothiazolone, z. B. 2-Methyl-4-Isotiazolin-3-on; Quaternäre Ammoniumverbindungen (Quats); 1,2-Benzisothiazolin-3-on (BIT); 3,5-Dimethyltetrahydro-1,2,5,2 H-thiadiazin-2-thion (Dazomet); Bromhydroxyacetophenon (BHAP); Glutaraldehyd; Peressigsäure

1.4.2 Räumliche Zuordnung relevanter Schadstoffe

In Tabelle 3 sind die Bereiche aufgeführt, die auf einem Standort der papier- und zellstoffherstellenden Industrie typischerweise vorhanden sein können. Abweichungen im konkreten Einzelfall sind möglich und abhängig bspw. davon, ob am Standort Zellstoff, Holzstoff oder Papier hergestellt wird oder ob es sich um eine integrierte Papierfabrik (mit Zellstoff- oder Holzstoffproduktion) handelt oder ob Altpapier verarbeitet wird. Auch der zeitliche Faktor ist zu berücksichtigen. So betreiben heute viele Papierfabriken keine eigene Zellstoff- bzw. Holzstoffproduktion mehr.

Tabelle 3: Zuordnung der Schadstoffe auf einem Standort der papier- und zellstoffherstellenden Industrie

Objekt	Beschreibung / Gehandhabte Stoffe	Potenzielle Schadstoffe
Verwaltung, Wohnungen, Sozialräume		Keine
Fuhrpark, Garage, Werkstatt, Tankstelle, Lokschuppen	Verwendung von Mineralölen, Schmierölen, Lösemitteln, etc.	MKW, PAK, Schwermetalle, Arsen, BTEX, Aceton, EOX
Zellstoffproduktion, Koche-rei	Bei Sulfataufschluss: Natronlauge (NaOH, Natriumsulfid (Na ₂ S), Glaubersalz (Na ₂ SO ₄); Bei Sulfitaufschluss: Magnesium- oder Calciumbisulfid, SO ₂ , Natriumsulfit(Na ₂ SO ₃), Natriumcarbonat (Na ₂ CO ₃), Natronlauge (NaOH), Eventuell Verwendung von Bleiche. Das Holz kann Schwermetalle und Arsen erhalten.	Sulfat, Chlorid, Schwermetalle, Arsen, AOX, EOX
Kraftwerk, Trafostation, Energieerzeugung	Mineralöle, Schmieröle	MKW, PAK, Schwermetalle, Trafoöle: PCB
Lager, Verpackung, Versand	Mineralöle, Schmieröle	MKW, PAK
Chlorproduktion, Chloraufbereitung	Produktion von Chlor z. B. nach dem Amalgamverfahren unter Verwendung von Quecksilber, NaCl und NaOH	Chlorid, AOX, Quecksilber
Papiermaschinen	Mineralöle, Schmieröle zum Betrieb der Maschinen, aufbereitete Ganzstoffe, Additive, Bleichmittel	MKW, PAK, PCB, Kunstharz
Ablagerung, Halde	Ablagerung von Asche welche bei der Dampferzeugung anfiel, Ligninschlämme, Chlorkalkschlamm, etc.	PAK, Schwermetalle, Cyanide, Chlorid, AOX
Absetzbecken	Ablagerungen von Aschen, Schlacken, Papierschlamm, etc.	erhöhte CSB-Gehalte, AOX, Chloride, Nitrat, Nitrit, Phosphat, Ammonium, Phenol, Sulfat, Schwermetall, Arsen
Eindampfungsanlage, Lauge regenerierungskomplex / Ofenhaus, Sulfataufbereitung	Wiederaufbereitung der Ablauge aus der Produktion des Zellstoffs	Sulfat, Chlorid, AOX
Batterieladestation	Mineralöle, Schmieröle	MKW, PAK, Schwermetalle
Kesselhaus, Schornstein	Steinsalz zur Aufbereitung des Kesselwassers, Mineralöle und Schmieröle, Kohlerückstände und Ablagerungen von Schwermetallen, Ruß und Salzsäure	MKW, PAK, Schwermetalle, Cyanide, Sulfat
Kohlelager, Öllager	Bodenverunreinigung durch Rückstände, Versickerung	MKW, PAK, Sulfat
Hilfsstofflager	Lagerung verschiedener Additive z. B. Farbstoffe, Füllmaterial, Bleichmittel, abhängig von der Herstellung	Schwermetalle, Chlorid, AOX, Arsen
Holzlagerplatz, Altpapierlagerplatz	Lagerung der Rohstoffe Holz, Hackschnitzeln, Altpapier	Pflanzenschutzmittel (Pentachlorphenol, Lindan, etc.)
Holz-, Strohstoffproduktion	Zerfaserung des Holzes bzw. Stroh zu Holz-/Strohstoff	Schwermetalle, Arsen, Pflanzenschutzmittel (Pentachlorphenol, Lindan, etc.)
Altpapieraufbereitung	Deinken des Altpapiers mit Natronlauge, Tenside, Wasserglas; Eventuell Bleichen mit Chlorverbindungen, Wasserstoffperoxid	Chlorid, AOX, Cyanide, Schwermetalle
Wasseraufbereitung	Aufbereitung von Frischwasser mit Aluminiumsulfat als Flockungsmittel	Sulfat

Objekt	Beschreibung / Gehandhabte Stoffe	Potenzielle Schadstoffe
Alaunbecken, Alaunlager	Leimungsmittel Alaun	Sulfat
Terpentinlager	Terpentine und Harzleime: entstanden als Nebenprodukte der Zelluloseherstellung	Terpentinöle (Terpenbestandteile, MKW, BTEX)
Stoffaufbereitung, Bleicherei	Aufbereitung des Ganzstoffes, Zugabe von Additiven, Bleichmitteln	Schwermetalle, Quecksilber, Chlorid, AOX
Betriebsgraben, Abwasserleitungen	Je nach Art des Abwassers	erhöhte CSB-Gehalte, AOX, Chloride, Nitrat, Nitrit, Phosphat, Ammonium, Phenol, Sulfat, Schwermetall, Arsen

1.4.3 Charakterisierung relevanter Schadstoffe

Mineralölkohlenwasserstoffe (MKW)

Bedeutung: Aufgrund der vorhandenen Maschinen und Fahrzeugen besteht insbesondere im Bereich von Werkstätten und Fuhrparks sowie an Maschinenstandorten und Öllagern die Gefahr von Kontaminationen. Eine Kontamination mit MKW ist allerdings nicht immer produktionspezifisch nur auf die Herstellung von Zellstoff bzw. Papier zurückzuführen.

Bewertung: MKW setzen sich aus einer Vielzahl unterschiedlichster aromatischer und aliphatischer Kohlenwasserstoffe zusammen. MKW können in tiefere Bodenschichten verlagert werden und stellen somit eine Gefahr für das Grundwasser dar. Einige Bestandteile werden als wassergefährdend bis stark wassergefährdend eingestuft.

Schwermetalle (Cd, Pb, Cr, Cu, Ni, Zn, Sb, Hg)

Bedeutung: Schwermetalle wie Blei, Chrom, Kupfer, Cadmium, oder Zink waren in einer Vielzahl von Farbstoffen enthalten. Zinksulfid wurde auch als Füllstoff verwendet.

Quecksilber ist relevant für Standorte, an denen das Chlor für die Bleiche mittels des Amalgamverfahrens hergestellt wurde.

Bei der Erzeugung von Zellstoff können Metalle aus dem Holz extrahiert werden, die zwar in nur geringer Konzentration vorhanden sind, aber aufgrund des großen Holzumsatzes ein signifikantes Problem werden können (UBA, 2001). Auch Altpapier enthält aufgrund der Druckertinte Schwermetalle, auch wenn der Anteil in den letzten Jahren stark zurückgegangen ist.

Bewertung: Schwermetalle sind zum einen lebensnotwendig für Menschen, Tiere und Pflanzen, können aber auch toxische Wirkungen hervorrufen, wenn sie sich im Körper anreichern. Die chemisch-physikalischen Eigenschaften und die Schädwirkungen auf Mensch und Umwelt hängen vom jeweiligen Schwermetall und den Bedingungen im Boden ab.

Arsen (As)

Bedeutung: Arsenbelastungen an Standorten der papier- und zellstoffherstellenden Industrie können verschiedene Ursachen haben. Eine ist die Röstung von Pyriterzen, die häufig als Rohstoff für den Schwefel des Sulfit-Verfahren verwendet wurden. Eine weitere mögliche Ursache ist auch die historische Tapetenproduktion, bei der zur Verhinderung von Schimmelpilzbildung in der Vergangenheit eine Beschichtung der Rückseite der Papierbahnen mit Arsen erfolgte. Hinzu kommt, dass Arsen auch in den Holzrohstoffen enthalten sein kann, einerseits wenn es geogen im Boden enthalten ist und andererseits wenn arsenhaltige Insektizide in der Forstwirtschaft verwendet wurden. Außerdem findet sich Arsen in Farbstoffen, wie dem früher verwendeten „Schweinfurter Grün“.

Bewertung: Einige Arsenverbindungen sind toxisch und besitzen eine kanzerogene Wirkung. Insbesondere As(III)-Verbindungen haben eine starke human- und ökotoxische Wirkung. Arsenverbindungen können mobilisiert und immobilisiert werden und über die Bodenlösung in das Grundwasser oder in Pflanzen transportiert werden und so in die Nahrungskette gelangen.

Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)

Bedeutung: PAK entstehen bei der unvollständigen Verbrennung von organischem Material. Probleme im Hinblick auf Standorte der Papier- und Zelluloseherstellung können sich durch Abgase und Rückstände aus der Verbrennung von Öl, Holz oder Kohle zur Gewinnung der nötigen Wärmeenergie z. B. für den Kochvorgang bei der Zellstoffherstellung oder für die Trocknung der Papierbahn ergeben.

Bewertung: Einige PAK besitzen eine starke human- bzw. ökotoxische Wirkung und sind kanzerogen oder mutagen. PAK besitzen eine hohe Persistenz sowie ein hohes Bioakkumulationspotenzials und gelten daher als Umweltschadstoffe.

Monoaromatische Kohlenwasserstoffe (BTEX)

Bedeutung: BTEX sind unter anderem in Treibstoffen vorhanden und können durch eventuelle Lecks in Öllagern oder Fahrzeuge in die Umwelt gelangen.

Bewertung: BTEX sind im Boden und Grundwasser mobil und leichtflüchtig. Benzol wirkt u.a. kanzerogen (Leukämie) und mutagen. Toluol, Ethylbenzole und Xylol werden als mindergiftig eingeschätzt. Aufgrund der Wasserlöslichkeit besteht ein hohes Wassergefährdungspotential.

Extrahierbare und absorbierbare organische Halogenverbindungen (EOX und AOX)

Bedeutung: Durch die chlorhaltige Bleiche aus dem Sulfataufschluss und aus der Altpapieraufbereitung sind in den Abwässern von Standorten der Papier- und Zellstoffindustrie hohe AOX-Gehalte auszumachen (UBA, 2001). Eine Verbreitung in der Umwelt ist somit sehr wahrscheinlich.

Bewertung: Halogenorganische Verbindungen besitzen eine hohe toxikologische und ökotoxikologische Relevanz und haben eine kanzerogene und mutagene Wirkung. Sie neigen zur Akkumulation in der Nahrungskette und sind nur langsam biologisch abbaubar.

Sulfat, Sulfit, Chlorid

Bedeutung: Sulfat und Sulfit sind von großer Bedeutung für die Herstellung des Zellstoffs (Sulfatverfahren und Sulfitverfahren). Außerdem ist Sulfat in mehreren Additiven wie Füllstoffen und Pigmenten vorhanden und wird bei der Harzleimung verwendet. Sulfit wird beim Holzaufschluss mit dem CTMP-Verfahren verwendet und bei der Bleichung als Ersatz für Chlor. Chloride kommen unter anderem in Retentionsmitteln, bei der Harzleimung und in einigen basischen Farbstoffen vor.

Bewertung: Sulfate und Chloride bedeuten in Oberflächengewässern aufgrund des erhöhten Salzgehaltes eine deutliche Verschlechterung der Lebensbedingungen für Wasserorganismen.

Zusammenfassung

Standorte der papier- und zellstoffherstellenden Industrie können insbesondere durch Schwermetalle, Arsen, Mineralöle und Schmieröle belastet sein. Mineralöltypische Schadstoffe wie MKW, PAK oder BTEX können grundsätzlich überall dort auftreten, wo Maschinen betrieben wurden. Schwermetalle, Arsen und Pflanzenschutzmittel, die durch Verwendung von belastetem Holz oder Stroh in den Produktionsprozess gelangt sind, können überall vorhanden sein, vorrangig in den Bereichen Holz-, Stroh- und Zellstoffproduktion, Holzlager, Halden und Absetzbecken. Schwermetalle treten zusätzlich vor allem in Werkstätten auf. Belastungen mit Chlor oder chlororganischen Verbindungen sind nur bei Betrieben zu erwarten, in denen mit Chlor gebleicht wurde. Sie können dann in der Stoffaufbereitung, der Bleicherei, Altpapieraufbereitung aber auch auf den Rückstandshalden und -absetzbecken vorkommen. Besonders für Rückstandshalden, Absetzbecken und (Hilfsstoff-)Lager sind die potenziell vorkommenden Schadstoffe von den produktionsspezifischen Gegebenheiten und den verwendeten Additiven abhängig, was insbesondere bei der Herstellung von Spezialpapieren zu beachten ist.

Das Vorkommen von poly- und perfluorierten Chemikalien (PFC) bei Standorten der Papierindustrie ist möglich bei Einsatz von PFC in der Oberflächenvergütung oder bei Einsatz von Altpapier (damit auch Einfluss des Produktionszeitraums). Die Relevanz ist bei Vorliegen von entsprechenden Anhaltspunkten zu prüfen.

2 Hinweise zur Altlastenbehandlung

2.1 Altlastenrelevanz

Die Standorte der papier- und zellstoffherstellenden Industrie werden oft seit mehr als 100 Jahren, teilweise seit mehreren Jahrhunderten genutzt. Aufgrund der langen Nutzungsdauer konnten Schadstoffe im Boden akkumulieren. Da Umweltbelange erst in den letzten Jahrzehnten an Bedeutung gewonnen haben, ist an Standorten mit langer Produktionsgeschichte der Einsatz umweltschädlicher Hilfs- und Zusatzstoffe wahrscheinlich, bspw. die Verwendung schwermetallhaltiger Additive oder die Bleiche mit elementarem Chlor. Viele Standorte wurden nach 1990 aufgegeben. Eine Freisetzung von Schadstoffen durch unsachgemäßen Rückbau oder unkontrollierten Verfall der Gebäude kann nicht ausgeschlossen werden.

Zur räumlichen Zuordnung von Schadstoffen auf dem Betriebsgelände siehe Kapitel 1.4.2.

Aufgrund des langjährigen Umgangs mit Schadstoffen weisen die Standorte ein hohes Kontaminationspotential für das Schutzgut **Boden** auf. Schadstoffquellen können auch Auffüllungen sein, welche aufgrund zahlreicher Um- und Neubaumaßnahmen während des langjährigen Betriebszeitraumes häufig an Papier- und Zellstofffabriken anzutreffen sind.

Über das Sickerwasser ist eine Kontamination des Schutzgutes **Grundwasser** möglich. Aufgrund der langen Betriebszeiträume ist neben einer Verlagerung leicht löslicher Stoffe wie Arsen oder BTEX, auch eine Kontamination mit eher immobilen Stoffen wie PAK nicht auszuschließen.

Eine Gefährdung für das Schutzgut **Oberflächenwasser** ergibt sich durch den Zufluss von kontaminiertem Grundwasser oder Oberflächenabfluss. Papier- und Zellstoffwerke befinden sich traditionell in der Nähe von Fließgewässern. Häufig wurde das Abwasser direkt ohne Reinigung über Absetzbecken in die Fließgewässer geleitet. Bei Hochwasser können Teile der Betriebsfläche überflutet und Kontaminationen an der Oberfläche in das Oberflächenwasser abgegeben werden. Eine Ablagerung von Schadstoffen in den Sedimenten und eine Abgabe in das Gewässer kann nicht ausgeschlossen werden.

Das Schutzgut **Luft** ist durch Standorte der papier- und zellstoffherstellenden Industrie grundsätzlich weniger gefährdet. Allerdings können BTEX aufgrund ihrer Flüchtigkeit in der Bodenluft mit erhöhten Konzentrationen vorkommen.

2.2 Gefährdete Schutzgüter und relevante Pfade

Einen Überblick über die am häufigsten betroffenen Schutzgüter und die wichtigsten Wirkungspfade gibt Tabelle 4. Je nach Situation am konkreten Standort können weitere Gefährdungen für den Menschen bspw. über den Pfad Boden - Nutzpflanze (- Nutztier) - Mensch oder durch die Nutzung von Grund- oder Oberflächenwasser als Trinkwasser auftreten.

Tabelle 4: Gefährdete Schutzgüter und relevante Pfade

Schutzgut	Wirkungspfad
Mensch/Tier	Boden - Mensch/Tier (direkter Kontakt)
Boden	Oberfläche/Auffüllung - Sickerwasser - Boden
Grundwasser	Oberfläche/Auffüllung/Boden - Sickerwasser - Grundwasser
Oberflächenwasser	Oberfläche/Auffüllung/Boden (- Sickerwasser - Grundwasser) - Oberflächenwasser

2.3 Gefährdungsabschätzung nach der sächsischen Altlastenmethodik

Aufgrund der verwendeten Hilfs- und Zusatzstoffe und des vorhandenen Gefährdungspotentials für die Schutzgüter ist bei Standorten der papier- und zellstoffherstellenden Industrie immer eine Gefährdungsabschätzung durchzuführen.

2.3.1 Erhebung mit formaler Erstbewertung (FEB, Beweismiveau 0)

§ 11 BBodSchG ermächtigt die Länder, die Erfassung von Altlasten und altlastverdächtigen Flächen zu regeln. In Sachsen umfasst diese erste Stufe der Altlastenbehandlung die Erhebung mit FEB und die ggf. anschließende historische Erkundung. Zuständig sind die unteren Bodenschutzbehörden, die sich hierzu des Sächsischen Altlastenkatasters (SALKA) bedienen. Das Vorgehen ist in dem Handbuch zur Altlastenbehandlung des Freistaates Sachsen, Teil 2 (Verdachtsfallerfassung und formale Erstbewertung) beschrieben. Wesentlicher Bestandteil der FEB ist die Einordnung in branchentypische Gefährdungsklassen. Für die papier- und zellstoffherstellende Industrie sind die in Tabelle 5 aufgeführten Branchen von Bedeutung.

Tabelle 5: Auszug Branchenkatalog

Branchennummer	Branchenbezeichnung	Gefährdungsklasse
0740	Holzbearbeitung/Verarbeitung von Rohholz (für Holzstoffproduktion)	22
0810	Herstellung von Zellstoff	35
0820	Herstellung von Papier, Papp	25

2.3.2 Historische Erkundung und Bewertung (HE, Beweinsniveau 1)

Fachliche Grundlagen für die HE enthalten das Handbuch zur Altlastenbehandlung des Freistaates Sachsen, Teile 1 (Grundsätze), 3 (Gefährdungsabschätzung, Pfad und Schutzgut Grundwasser), 4 (Gefährdungsabschätzung, Pfad und Schutzgut Boden) und 5 (Gefährdungsabschätzung Pfad und Schutzgut Oberflächenwasser) sowie der Materialienband „Historische Erkundung von altlastverdächtigen Flächen“.

Die durch Recherche in Archiven, Befragung von Zeitzeugen und Ortsbegehungen gewonnenen Erkenntnisse über die Produktionsgeschichte, die verwendeten Stoffe und die Standorteigenschaften werden ohne technische Erkundungen ausgewertet. Daraus sind Aussagen zu vorhandenen Kontaminationen sowie mögliche Ausbreitungspfade und betroffene Schutzgüter abzuleiten.

Die Vorgehensweise bei der Gefährdungsabschätzung ist in den o. g. Teilen des Handbuchs zur Altlastenbehandlung beschrieben:

Stoffgefährlichkeit (r_0)

Branchentypische r_0 -Wert-Bereiche enthalten die Teile 3 und 4 des Handbuchs zur Altlastenbehandlung. Für die Branchen der papier- und zellstoffherstellenden Industrie ergeben sich die in Tabelle 6 aufgeführten Wertebereiche.

Tabelle 6: Stoffgefährlichkeit r_0 für Branchen der papier- und zellstoffherstellenden Industrie

Schlüsselnummer	Branche	r_0 (r_{\min} r_{\max})
0740	Holzbearbeitung/Verarbeitung von Rohholz	2,5 (2,0 3,0)
0810	Herstellung von Zellstoff	5,0 (4,0 6,0)
0820	Herstellung von Papier, Pappe	4,5 (3,0 6,0)

Das Gefahrenpotential ist damit als i. d. R. hoch einzuschätzen. Es bedarf einer standortkonkreten Einzelfallbewertung. Dabei kann von folgenden grundsätzlichen Überlegungen ausgegangen werden:

Grundwasser – Schadstoffaustrag

Lage zum Grundwasser: Standardfall ist die Kontamination im ungesättigten Bereich. Lagen im Grundwasser-Schwankungsbereich oder im gesättigten Bereich erhöhen das Risiko einer Gefährdung

Oberflächenabdichtung: Ist eine wirksame Oberflächenabdichtung wie Versiegelung oder Bebauung vorhanden, verhindert dies das Eindringen von Schadstoffen und mindert das Gefahrenrisiko. Ist die Fläche nicht versiegelt oder die Versiegelung, z. B. durch Risse, stark beschädigt und so als Oberflächenabdichtung nicht wirksam, bleibt das branchenspezifische Gefahrenrisiko unvermindert bestehen.

Wasserlöslichkeit: Der Eintrag von Schadstoffen in das Grundwasser wird stark von deren Löslichkeit und Aggregatzustand bestimmt. An Standorten der papier- und zellstoffherstellenden Industrie sind viele potentielle Schadstoffe mit unterschiedlichen Löslichkeiten bzw. Aggregatzuständen vorhanden. Flüssig bzw. leicht löslich (≥ 100 mg/l) sind z. B. MKW, weniger löslich (1 bis 100 mg/l) z. B. Naphthalin oder Phenanthren und schwer löslich (< 100 mg/l) z. B. höhermolekulare PAK. Für die Bewertung ist der Schadstoff mit der höchsten Löslichkeit relevant.

Grundwasser - Schadstoffeintrag

Abbaubarkeit in der ungesättigten Zone: An Standorten ehemaliger Papierfabriken können sowohl leicht abbaubare Schadstoffe wie MKW als auch nicht leicht abbaubare Schadstoffe (PAK) vorkommen. Durch das Vorhandensein von Schwermetallen kann die Abbaubarkeit zusätzlich verringert werden. Relevant ist der Schadstoff mit der geringsten Abbaubarkeit. Nur wenn das Vorkommen schwer abbaubarer Schadstoffe sicher ausgeschlossen werden kann, ist eine Minderung des Gefahrenrisikos wahrscheinlich.

Grundwasser - Schadstofftransport

Abbaubarkeit im Grundwasserleiter: Zusätzlich zu den o. g. Bedingungen in der ungesättigten Zone kann chemischer oder biologischer Abbau durch Sauerstoffmangel noch weiter verringert werden. I. d. R. wird keine Minderung des Gefahrenrisikos zu erwarten sein.

Grundwasser – Bedeutung

Nutzungsart: Grundsätzlich bedeutet die Nutzung potentiell mit Schadstoffen wie MKW, PAK oder Schwermetallen belasteten Grundwassers eine Erhöhung des Gefahrenrisikos, insbesondere für sensible Nutzungen wie Trinkwasser.

Boden - Schadstoffaustrag

Fallzuordnung: Für Standorte der papier- und zellstoffherstellenden Industrie werden überwiegend die Fälle 1 (zu schützender Boden ist die Altlast selbst; Standardfall) oder 3 (zu schützender Boden liegt unter der Altlast) von Bedeutung sein.

Sachverhalte wie Kontaminationsfläche, Oberflächenversiegelung oder Löslichkeit der Schadstoffe sind einzelfallbezogen zu bewerten.

Boden - Schadstoffeintrag

Der Schadstoffeintrag in das Schutzgut Boden wird maßgeblich durch die Lage bzw. die Entfernung der Altlastverdachtsfläche zum zu schützenden Boden bestimmt. Auswirkungen auf das Gefahrenrisiko sind standortkonkret für den Einzelfall zu bewerten. Gleiches gilt für die Berücksichtigung möglicher Widerstände auf dem Ausbreitungspfad wie Bewuchs oder Durchlässigkeit des Bodens. Die Bewertung ist mit den Angaben zum Schadstoffeintrag in das Grundwasser abzugleichen.

Boden - Schadstoffverhalten

Abbaubarkeit: Die Abbaubarkeit der potentiellen Schadstoffe ist sehr differenziert (vgl. Grundwasser). Sofern keine Belastung mit Schwermetallen vorliegt, kann ein Abbau grundsätzlich als möglich angenommen werden. Für eine belastbare Minderung des Gefahrenrisikos wird im Beweismiveau 1 der Kenntnisstand i. d. R. aber nicht ausreichend sein.

Verweilzeit im Boden: Schwermetalle akkumulieren in den oberen Bodenschichten und PAK besitzen eine geringe Löslichkeit. Dementsprechend hoch sind die Verweilzeiten im Boden. Eine Minderung des Gefahrenrisikos ist nicht zu erwarten.

Boden - Bedeutung

Nutzungskriterien: Standorte ehemaliger Papierfabriken sind heute typischerweise Industrie- und Gewerbegrundstücke. Umnutzungen sind aber möglich und im Hinblick auf das Gefahrenrisiko standortspezifisch zu bewerten.

Oberflächenwasser - Schadstoffaustrag

Fallunterscheidung: Wahrscheinlich sind die Fälle 1 (Eintrag über das Grundwasser) und 2 (Eintrag über das Sickerwasser). Fall 4 (Eintrag durch Hochwasser) kann aufgrund der Nähe der Standorte zu Fließgewässern auch relevant sein. Welche Fälle betrachtet werden müssen ist standortabhängig.

Löslichkeit: siehe Grundwasser

Oberflächenwasser - Schadstoffeintrag

Sorbierbarkeit: siehe Grundwasser.

Oberflächenwasser – Transport, Verhalten und Wirkung

Biologischer Abbau: Biologischer Abbau ist generell möglich (siehe Grundwasser). Die Bewertung hängt dabei von der Fließgeschwindigkeit ab.

Flüchtigkeit: Typischerweise zu vermutende Schadstoffe sind nicht flüchtig. Dieses Kriterium wird i. d. R. das Gefahrenrisiko nicht signifikant beeinflussen.

2.3.3 Orientierende Untersuchung (OU, Beweismiveau 2)

Für die OU gelten die Bestimmungen des BBodSchG und der BBodSchV. Fachliche Grundlagen enthalten das Handbuch zur Altlastenbehandlung des Freistaates Sachsen, Teile 1 (Grundsätze), 3 (Gefährdungsabschätzung, Pfad und Schutzgut Grundwasser), 4 (Gefährdungsabschätzung, Pfad und Schutzgut Boden) und 5 (Gefährdungsabschätzung Pfad und Schutzgut Oberflächenwasser) sowie die „Bewertungshilfen bei der Gefahrenverdachtsermittlung in der Altlastenbehandlung“ des LfULG.

Mit der OU wird bezweckt, auf der Grundlage der Ergebnisse der HE durch örtliche Untersuchungen, insbesondere Messungen, den Verdacht einer Altlast auszuräumen oder anhand konkreter Anhaltspunkte hinreichend zu verfestigen. Kernpunkt ist die Probenahme an wenigen exponierten Stellen der Altlastverdachtsfläche und die analytische Untersuchung des Probenmaterials auf relevante Schadstoffe. Die gemessenen, in Einzelfällen auch geschätzten Werte sind wirkungspfad- und nutzungsbezogen mit den zutreffenden Prüf- und Maßnahmewerten der BBodSchV abzugleichen. Soweit für Schadstoffe in der Verordnung keine Werte festgesetzt sind, gilt § 4 Abs. 5 BBodSchV. Fachliche Orientierungswerte enthalten auch die o. g. Bewertungshilfen des LfULG.

Die Vorgehensweise bei der Gefährdungsabschätzung ist in den o. g. Teilen des Handbuchs zur Altlastenbehandlung beschrieben. Überschreitungen von Prüf- und Orientierungswerten sind gutachterlich zu bewerten und Handlungsempfehlungen abzuleiten.

Für den **Boden** werden Proben in den Bereichen eines möglichen Schadstoffeintrages in den für die jeweilige Nutzung nach BBodSchV vorgeschriebenen Tiefen entnommen. Neben der Feststoffanalytik sind i. d. R. auch Eluate zur Prognose des Wirkungspfades Boden-Grundwasser sinnvoll. Eine schichtbezogene Probenahme mit besonderer Berücksichtigung von organoleptischen Auffälligkeiten ist für den Wirkungspfad Boden-Grundwasser insbesondere dann vorzunehmen, wenn keine Grundwasserbeprobung möglich ist.

Für das **Grundwasser** sollte mindestens eine Messstelle im Abstrom und bei auffälligen Werten eine zweite im Anstrom des Betriebsgeländes errichtet werden. Gegebenfalls vorhandene Grundwassermessstellen sind einzubeziehen.

Für das **Oberflächenwasser** wird der Vorfluter zunächst im Abstrom der altlastverdächtigen Fläche beprobt. Bei auffälligen Werten sollte auch im Anstrom mindestens eine Probe untersucht werden. Aus weiteren oberirdischen Gewässern wie z. B. Betriebsgräben sind ebenfalls Proben im Abstrom und gegebenenfalls im Anstrom zu analysieren.

Einen möglichen Untersuchungsplan enthält Tabelle 7. Das Untersuchungsspektrum ist dem jeweiligen konkreten Einzelfall anzupassen.

Tabelle 7: Beispiel Untersuchungsplan OU an einem Standort der papier- und zellstoffherstellenden Industrie

Ort der Probenahme	zu untersuchende Medien	Untersuchungsspektrum
Papiermaschinen, Stoffaufbereitung, Dampfturbine (Abrissgelände)	Boden	<ul style="list-style-type: none"> • Mineralölkohlenwasserstoffe (MKW) • Schwermetalle (Cd, Pb, Ni, Zn, Sb, Hg + Aufschluss) und Arsen • polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK): Naphthalin, Acenaphthylen, Acenaphthen, Fluoren, Phenanthren, Anthracen, Fluoranthren, Pyren, Benzo[a]anthracen, Chrysen, Benzo[k]fluoranthren, Benzo[b]fluoranthren, Benzo[a]pyren, Indeno[1,2,3-cd]pyren, Dibenzo[a,h]anthracen, Benzo[g,h,i]perylen • monoaromatische Kohlenwasserstoffe (BTEX) • extrahierbare Halogenverbindungen (EOX) • adsorbierbare organische Halogenverbindungen (AOX) • Sulfat, Sulfit, Chlorid • Cyanid (bei Altpapieraufbereitung) <p>Zusätzlich Grundwasser und Oberflächenwasser:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Vor-Ort-Parameter: pH-Wert, Leitfähigkeit, Temperatur, Redoxpotenzial, Sauerstoffgehalt • Hydrogencarbonat • Gelöster organischer Kohlenstoff (DOC)
Ggf. Anstrom Gelände	Grundwasser	
Abstrom Gelände	Grundwasser	
Öltanklager, Papiermaschine	Boden	
Kesselhaus	Boden	
Anlieferungszone, Papierverarbeitung	Boden	
Abwasseraufbereitung	Boden	
Halden, Absetzbecken	Boden	
Betriebsgraben	Oberflächenwasser	

Ort der Probenahme	zu untersuchende Medien	Untersuchungsspektrum
Ggf. Anstrom Gelände Papierfabrik	Oberflächenwasser	
Abstrom Gelände Papierfabrik	Oberflächenwasser	

Bei der Bewertung vorgefundener Belastungen und der Identifizierung von Schadstoffquellen sollte auch berücksichtigt werden, dass Papierfabriken technologisch bedingt i. d. R. nahe an Fließgewässern errichtet wurden. Als Ursache für erhöhte Schadstoffgehalte auf dem Betriebsgelände oder in unmittelbarer Umgebung sind in Einzelfällen mögliche Hintergrundbelastungen in den Auenböden nicht auszuschließen.

2.3.4 Detailuntersuchung (DU, Beweisniveau 3)

Besteht aufgrund der Untersuchungsergebnisse aus der OU ein hinreichender Verdacht für das Vorliegen einer Altlast, sind die Untersuchungen auf der Stufe einer DU fortzusetzen. Es gelten die Bestimmungen des BBodSchG und der BBodSchV. Fachliche Grundlagen enthalten das Handbuch zur Altlastenbehandlung des Freistaates Sachsen, Teile 1 (Grundsätze) und 7 (Detailuntersuchung) sowie die „Bewertungshilfen bei der Gefahrenverdachtsermittlung in der Altlastenbehandlung“ des LfULG.

Die vertieften weiteren Untersuchungen im Rahmen der DU dienen insbesondere der Feststellung von Menge und räumlicher Verteilung von Schadstoffen und der Möglichkeiten ihrer Ausbreitung. Auch Expositionsabschätzungen sind Gegenstand der DU. Im Ergebnis ist zu beurteilen, ob vom Standort eine Gefährdung ausgeht. Ggf. sind Gefahrenabwehrmaßnahmen und vorläufige Sanierungsziele abzuleiten.

2.3.5 Sanierungsuntersuchung

Muss aufgrund der Ergebnisse der vorhergehenden Untersuchungen davon ausgegangen werden, dass von einem Standort eine Gefährdung für die Schutzgüter ausgeht, ist nach BBodSchG und BBodSchV zunächst eine Sanierungsuntersuchung notwendig. Fachliche Hinweise enthält Teil 8 (Sanierungsuntersuchung) des Handbuchs zur Altlastenbehandlung des Freistaates Sachsen.

Mit der Sanierungsuntersuchung werden Sanierungsmaßnahmen ausgearbeitet, die geeignet sind, die Gefährdung der Schutzgüter zu minimieren und notwendige Sanierungsziele zu erreichen. Erst auf dieser Grundlage kann über die Verhältnismäßigkeit, die Art und den Umfang von Sanierungsmaßnahmen entschieden werden.

Für die branchentypischen Schadstoffe der papier- und zellstoffherstellenden Industrie stehen grundsätzlich geeignete Sanierungsverfahren zur Verfügung. Eignungsbeurteilungen bezüglich Schadstoffe, Bodenart und Umweltauswirkungen sowie Aussagen zum Genehmigungsaufwand sind in der Datenbank ATRIUM des LfULG enthalten.

2.4 Sanierung

2.4.1 Bodensanierung

In der Regel werden an den Standorten der papier- und zellstoffherstellenden Industrie eher kleinflächige Kontaminationen hauptsächlich mit MKW, PAK oder Schwermetallen vorliegen. Daher kann in vielen Fällen ein Bodenaustausch mit anschließender off-site Behandlung des Bodens mit biologischen oder chemisch-physikalischen Verfahren in Betracht gezogen werden.

Als Sicherungsmaßnahme ist eine Oberflächenversiegelung zu prüfen, mit der die Verlagerung vorhandener Schadstoffe verhindert werden kann. Das Verfahren ist für alle Schadstoffe und jeden Boden gut geeignet, insbesondere wenn aufgrund der vorhandenen Bausubstanz ein Bodenaustausch schwierig ist. Häufig sind an den Standorten bereits hohe Versiegelungsgrade vorhanden, diese sollten jedoch auch hinsichtlich ihrer Dichtigkeit überprüft werden.

2.4.2 Grundwassersanierung

In Einzelfällen mit geringfügigen Belastungen des GW kann von aufwendigen Sanierungsverfahren abgesehen werden. So kann bei abbaubaren organischen Kontaminanten in Abhängigkeit von Art und Menge der Verunreinigungen sowie den standörtlichen Gegebenheiten ggf. bereits die natürliche Selbstreinigung (*Natural Attenuation*, NA) einen hinreichenden Abbau oder zumindest einen Rückhalt der Schadstoffe bewirken.

Bei größeren Kontaminationen kommen hydraulische Verfahren in Betracht. Dabei wird das kontaminierte Grundwasser abgepumpt und oberirdisch die Schadstoffe entfernt. Dabei stehen für organische Schadstoffe z. B. PAK oder MKW Aktivkohlefilter, biologische Reinigungsverfahren, etc. und für Schwermetalle Ionenaustauscher, oxidative Fällung, reduktive Fällung, etc. zur Verfügung. Die Eignung hängt von den Standortbedingungen ab und muss anhand des Schadstoffes, der (hydro-) geologischen Verhältnisse sowie durch eine Abwägung des Aufwands und der Kosten geprüft werden.

2.4.3 Sanierungsüberwachung

Während der Sanierungsmaßnahme ist eine Überwachung notwendig. Diese beinhaltet messtechnische Kontrollen zur Überprüfung und Gewährleistung des Sanierungsfortschritts sowie die Überprüfung der Einhaltung arbeitsschutzrechtlicher Bestimmung.

Nach der Sanierung ist die Einhaltung der im Sanierungsplan festgelegten Ziele zu kontrollieren und zu dokumentieren. Insbesondere bei Sanierung durch Sicherungsmaßnahmen kann sich die Kontrolle über einen längeren Zeitraum erstrecken (Standortmonitoring).

2.5 Überwachte Natürliche Selbstreinigung (MNA)

Ist eine Sanierung nicht möglich oder unverhältnismäßig, ist zu prüfen, ob eine relevante natürliche Selbstreinigung von Boden/Grundwasser des Standortes gegeben ist und eine Überwachung dieser Selbstreinigung eine akzeptable Alternative zur Sanierung darstellt. Dazu ist eine umfangreiche Konzeption vorzulegen, die den Nachweis des Schadstoffabbaus und eine Abschätzung der Entwicklung des Schadstoffgehaltes erbringt.

2.6 Anbieter von Leistungen zur Altlastensanierung

Firmen und Einrichtungen, die sich mit der Behandlung von Altlasten beschäftigen, sind dem Anbieterverzeichnis von Leistungen zur Altlastenbehandlung im Freistaat Sachsen zu entnehmen. Das Verzeichnis ist über die IHK- Niederlassungen Sachsens bzw. deren Internet-Adressen erhältlich:

- <http://www.chemnitz.ihk.de>
- <http://www.leipzig.ihk.de>
- <http://www.dresden.ihk.de>

Weiterhin sind in Fachzeitschriften (z. B. Wasser & Boden, Korrespondenz Abwasser, Umwelt News, Altlastenspektrum, Altlasten-Aktuell), Publikationen über innovative Altlastenbehandlungen und Anbieter von Leistungen zur Altlastenbehandlung recherchierbar.

3 Literaturhinweise

ATMATZIDIS, E., BEHRENDT, S., KREIBICH, R. (1995): Abwässer in der Papierfabrikation – Perspektiven für eine umweltverträgliche Papierwirtschaft, Werkstattbericht Nr. 18, Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung, Berlin.

BLECHSCHMIDT, J. (2010): Taschenbuch der Papiertechnik; Carl Hanser Verlag

DISPAN, J. (2013): Papierindustrie in Deutschland – Branchenreport 2013; Informationsdienst des IMU Instituts – Heft 2/2013

SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT, LANDWIRTSCHAFT UND GEOLOGIE (2008): Bewertungshilfen bei der Gefahrenverdachtsermittlung in der Altlastenbehandlung, zuletzt geändert im April 2014

UBA (2001): Integrierte Vermeidung von und Verminderung der Umweltverschmutzung (IVU). Referenzdokument über die Besten Verfügbaren Techniken in der Zellstoff- und Papierindustrie, URL: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/419/dokumente/bvt_zellstoffpapierindustrie_zf.pdf

WALENSKI, W. (1996): Das PapierBuch, Verlag Beruf + Schule, Itzehoe