

5. Umweltverhältnisse bei der Erzeugung und Hantierung von Brennstoff

5.1 Hackschnitzelerzeugung und Nachhaltigkeit in der Forstwirtschaft

Die Nutzung von Holzbrennstoffen bietet klare Vorteile für die Umwelt, bedeutet aber gleichzeitig eine intensivere Nutzung des Ökosystems Wald, denn bei der Hackschnitzelerzeugung wird ein größerer Teil der Biomasse entnommen als bei normalem Holzeinschlag. Dies kann sich längerfristig negativ auf die Stabilität und den Zuwachs des Waldes auswirken und ein ergänzendes Düngen erfordern.

Ein stärkere Nutzung des Ökosystems Wald durch das Hacken von Durchforstungsholz und Abraum kann Auswirkungen haben, die besonders mit zwei Umständen zusammenhängen:

- Die Hackschnitzelerzeugung entzieht der Fläche mehr Pflanzennährstoffe, da ein größerer Teil der nährstoffreichsten Pflanzenteile (Nadeln, Äste, Rinde) entfernt wird.
- Wenn eine größere Menge organischen Materials entfernt wird, verringert sich unter Umständen der Humusgehalt des Bodens und damit seine Fähigkeit, die Holzproduktion zu unterstützen.

Um diese Auswirkungen zu vermeiden, müssen die Nutzung des Bodens und seine Belastbarkeit sorgfältig austariert werden, oder der Nährstoffverlust muss z.B. dadurch ausgeglichen werden, dass die Hackschnitzelasche dem Wald wieder zugeführt wird.

Pflanzennährstoffe

Historisch gesehen ist der Raubbau an Wäldern nichts Neues. In bestimmten deutschen Waldgebieten lässt sich heute noch nachweisen, dass die Nährstoffreservoirs des Bodens im vorigen Jahrhundert durch die Nutzung von Ästen, Zwei-

gen und Blättern als Brennstoff, Futter und Streu stark ausgemergelt wurden.

Der größte Teil der Nährstoffe sitzt in den aktiven Pflanzenteilen des Baumes (Nadeln und Rinde), die einen recht kleinen Teil der Biomasse ausmachen. Eine Ausnahme bildet Kalzium, das auch im Holz in erheblichen Mengen vorhanden ist. Ein Beispiel für die Verteilung der Biomasse und der wichtigsten Nährstoffe zeigt Schaubild 12. Die Nährstoffentnahme beim Hacken hängt daher in hohem Maße davon ab, welche Teile der Biomasse entfernt werden. Am größten ist die Entnahme bei der Erzeugung von Grünhackschnitzel aus ganzen Bäumen (Hackschnitzel mit Nadeln und Zweigen). Das beinhaltet (z.B. in Schaubild 12) einen Mehrertrag - 8% Nadeln und 13% Zweige (die viel Rinde enthalten) -, doch mit diesem Mehrertrag werden 68% der Stickstoffmenge der Bäume, 72% der Phosphormenge, 58% der Kaliummenge und 50% der Kalziummenge entzogen.

Der ganz überwiegende Teil der dänischen Hackschnitzelernte stammt aus den ersten Durchforstungen. Die Durchforstungsbäume werden normalerweise im Winter gefällt (um einen Befall der Stümpfe durch den Kernfäuleerreger *Heterobasidion annosum* zu begrenzen) und trocknen danach vier bis sechs Monate am Fällort. Erreicht wird dadurch, dass:

- ca. die Hälfte des Wassers verdunstet;
- die Nadeln und ein Teil dünne Zweige sich lösen und abfallen, bevor die Bäume in den Hacker gezogen werden.

Das in Dänemark praktizierte Verfahren vermindert daher den Entzug von Pflanzennährstoffen im Vergleich zum Hacken von frisch geschlagenen Bäumen. Dies ist im Beispiel in Tabelle 8 im Verhältnis zu der verbreiteten Praxis des Hackens von Bäumen aus den ersten beiden Durchforstungen berechnet. Der größte Nährstoffentzug erfolgt mit Stämmen und Rinde beim normalen Durchforstungseinschlag und besonders bei Kahlschlag. Beim Hacken von ganzen Bäumen nach Vortrocknung aus den ersten beiden Durchforstungen erhöht sich der Entzug um 4% bis 26%, je nach Nährstoff, beim Hacken frisch geschlagener ganzer Bäume erhöht er sich um das Zwei- bis Dreifache von 12% bis 48% (Tabelle 8).

Der Nährstoffentzug während der gesamten Umtriebszeit muss im Verhältnis zur Fähigkeit des Standortes gesehen werden, diese Stoffe durch Verwitterung der Mineralstoffe des Bodens oder Immission aus der Luft zuzuführen. An sehr nährstoffarmen Standorten entzieht bereits der normale Einschlag von Stämmen dem Boden mehr Nährstoffe

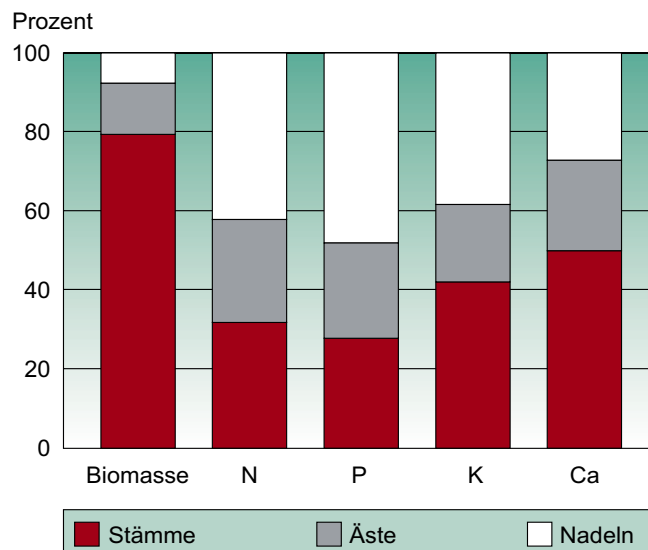


Schaubild 12: Verteilung der Biomasse auf Nadeln, Äste und Stämme sowie der relative Gehalt an Pflanzennährstoffen der gleichen Baumteile für Rotfichte (41).

als ihm zugeführt werden, so dass der Boden nach und nach ausmergelt und ein Nährstoffmangel entsteht. Das derzeit verfügbare Wissen reicht allerdings nicht aus, um diese Standorte auszuweisen. Küstennahe Gebiete sind weniger ausgesetzt, da ihnen mit dem Wind Nährstoffe in Form von Meersalz zugeführt werden.

In den nordischen Ländern laufen eine Reihe von Versuchen, die die Folgen eines erhöhten Entzugs von Biobrennstoffen in den Wäldern klären sollen. Dabei konnte noch keine Einwirkung auf den Zuwachs nach der Nutzung von ganzen Bäumen bei den ersten Durchforstungen nachgewiesen werden. Das kann an der kurzen Dauer der Versuche (10-15 Jahre) im Vergleich zur normalen Lebensdauer des Bestandes (bis 100 Jahre) liegen. Einzelne Versuche in Schweden haben allerdings einen Zuwachsrückgang gezeigt, dieser konnte jedoch auf einen erhöhten Stickstoffmangel nach der Nutzung ganzer Bäume zurückgeführt werden. In Dänemark, wo die Stickstoffzufuhr aus der Luft ausreicht, um den Stickstoffbedarf der Bäume zu decken, wird dieses Phänomen kaum auftreten.

Die Asche aus der Verbrennung von Hackschnitzel enthält im Wesentlichen die Nährstoffmenge, die dem Bestand durch das Hacken entzogen wurde (Stickstoff ausgenommen). Es liegt daher nahe, dem Wald die Hackschnitzelasche wieder zuzuführen und das Nährstoffproblem dadurch zu lösen.

Die Aschemenge, die beim Verbrennen von Holz anfällt, wird oft in Prozent vom Trockengewicht des Holzes (0% Wasser) angegeben. Hier muss unterschieden werden zwischen reiner Holzasche und Rohasche. Unter reiner Holzasche wird die reine Asche ohne Sand, unverbranntes Holz oder andere Stoffe verstanden. Unter Rohasche wird die reine Asche und der unvermeidbare Gehalt an anderen Stoffen verstanden.

Im Durchschnitt rechnet man mit 2,5% reiner Asche bei der Verbrennung von Hackschnitzel aus ganzen Bäumen. Die Menge Rohasche schwankt, man rechnet aber mit einem Rohaschegehalt von 5% bei der Verbrennung von Hackschnitzel aus ganzen Bäumen (27). Tabelle 10 enthält eine Schätzung der durchschnittlichen Mengen von Pflanzennährstoffen in kg pro Tonne trockene Rohasche.



foto: thy statsskovidistrikt/per kynde.

Nach der zweiten oder dritten Durchforstung, wenn die Bäume 30-40 Jahre alt sind, werden ca. 2 Tonnen Trockenasche pro ha ausgebracht (entsprechend ca. 3 Tonnen Nassasche). Mit der Asche werden die Nährstoffe wieder zugeführt, die dem Bestand mit dem Hackschnitzel entzogen wurden.

Holzasche enthält geringe Mengen Schwermetalle, z.B. Kadmium 0 - 0,08 g/kg trockene Asche und Blei 0,02 - 0,6 g/kg trockene Asche. Diese Stoffe können ein Problem darstellen, wenn die Asche wieder im Wald oder auf Feldern ausgebracht werden soll. Bisher wurde das Ausbringen von Hackschnitzelasche in Wäldern von der Bekanntmachung über die Verwendung von Abfallprodukten für Landwirtschaftszwecke - "Bekendtgørelsen om anvendelse af affaldsprodukter til jordbrugsformål" (31) - geregelt, zurzeit (Anfang 1999) arbeitet das dänische Umwelt- und Energieministerium eine Bekanntmachung aus über die Verwendung von Asche aus der Vergasung und Verbrennung von Biomasse und Biomasseabfällen für Landwirtschaftszwecke - "Bekendtgørelse om anvendelse af aske fra forgasning og for-

brænding af biomasse og biomasseaffald til jordbrugsformål". Von dieser Bekanntmachung verspricht man sich bessere Möglichkeiten für eine sinnvolle und umweltgerechte Verwendung der Biomasseasche (siehe Kapitel 8).

Humusgehalt

Beim Hacken ganzer, vorgetrockneter Bäume wird mehr Holz aus dem Bestand entfernt als beim bekannten normalen Einschlag von entastetem Rundholz. Das heißt, dass weniger Äste und Wipfel auf dem Waldboden zurückbleiben und natürlich zersetzt werden. Abgestorbenes, organisches Material beherbergt die mit dem Zersetzungsprozess verbundene Flora und Fauna. Ob das Hacken damit die Biodiversität in den Wäldern verringert, ist umstritten

| Nährstoffentzug (kg/ha) | Stickstoff (N) | Phosphor (P) | Kalium (K) | Magnesium (Mg) | Kalzium (Ca) |
|--|----------------|--------------|------------|----------------|--------------|
| 1. Stämme | 170 | 54 | 205 | 23 | 234 |
| 2. Hacken mit Vortrocknung | 214 | 58 | 213 | 26 | 259 |
| 3. Hacken frisch geschlagener Bäume | 252 | 61 | 230 | 30 | 294 |
| Erhöhter Nährstoffentzug (% von 1) bei | | | | | |
| 2. Hacken mit Vortrocknung | 26 | 7 | 4 | 13 | 11 |
| 3. Frisch geschlagenen Bäumen | 48 | 13 | 12 | 30 | 26 |

Tabelle 8: Gesamter Nährstoffentzug (kg/ha) über eine Umtriebszeit von 70 Jahren bei unterschiedlichen Hackstrategien für die ersten zwei Durchforstungen in Rotfichte in der Gludsted Plantage (42).

und zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch nicht untersucht.

Eine andere Frage, die in diesen Jahren debattiert wird, ist die Einlagerung von Kohlenstoff in den Gehalt an stabilen Humusstoffen des Bodens (Humusbildung). Jeder Baumbestand produziert einen stetigen Strom toten, biologischen Materials, das auf dem Waldboden landet - Blätter, Nadeln, Äste, Zweige, abgestorbene Bäume etc. Beim normalen Einschlag entasteten Rundholzes bleiben Äste und Wipfel auf dem Waldboden zurück, bei der Hackschnitzelerzeugung aus ganzen Bäumen wird dagegen ein größerer Anteil der gesamten Biomasseproduktion des Bestandes entfernt. Bei der normalen dänischen Hackschnitzelernte, die überwiegend bei den ersten beiden Durchforstungen der Bestände stattfindet, wird im Vergleich zum Rundholzeinschlag nur wenig mehr Holz aus dem Bestand entfernt.

Der größte Teil des abgestorbenen organischen Materials wird mineralisiert, d.h. er wird abgebaut zu Pflanzennährstoffen, Kohlendioxid und Wasser, während ein kleinerer, variierender und unbekannter Teil des abgestorbenen organischen Materials einen Teil der dauerhaften Humusstoffe des Bodens ausmacht. Umfang und Bedeutung dieser Einlagerung werden in diesen Jahren diskutiert und untersucht, es gibt aber zurzeit keine Messungen, die klären, ob die Hackschnitzelerzeugung den Gehalt an dauerhaften Humusstoffen verringert und ob dies Bedeutung hat für die Gesundheit und den Zuwachs der Bäume.

Nachhaltige Nutzung

Durch den Einschlag von ganzen Bäumen bei der ersten und zweiten Durchforstung werden dem Waldboden normalerweise so wenig Nährstoffe entzogen, dass Bedenken kaum angebracht sind - vorausgesetzt, die Bäume trocknen vor dem Hacken ein halbes Jahr im Bestand. Die Räumung von Kahlschlägen durch Hacken des Abraums ersetzt oft eine normale Räumung oder das Verbrennen des Abraums. Gegen die Hackschnitzelerzeugung ist unmittelbar nichts einzuwenden, vorausgesetzt, der Abraum wird mindestens einen Sommer lang getrocknet. In beiden Fällen ist zu beachten, dass ergänzendes Düngen erforderlich sein kann.



foto: biopress/forbren skofft

Hackschnitzeldepot mit Kran zum Beschicken der Hackschnitzel-Verbrennungsanlage in Harboøre. Der Kran kann von einem abgeschirmten Kontrollraum aus automatisch gesteuert und überwacht werden.

5.2 Gesundheitsrisiken und Arbeitssicherheit bei der Hackschnitzel- und Pellethantierung

Der Umgang mit Biobrennstoffen wie Hackschnitzel kann gesundheitliche Belastungen durch Staub und Mikroorganismen wie Pilze und Bakterien mit sich bringen. Bei Holzhackschnitzel ist insbesondere die Vermehrung von Pilzen und Bakterien in gelagertem Hackschnitzel problematisch, bei Holzpellets ist Staub vermutlich der größte Risikofaktor.

Gesundheitsbelastungen

Gesundheitliche Belastungen beim Hantieren von Biobrennstoffen treten typisch dadurch auf, dass beim Einatmen kleine Partikel in Rachen und Lunge gelangen.

| | |
|----------------|--------|
| Phosphor (P) | 13 kg |
| Kalium (K) | 48 kg |
| Kalzium (Ca) | 137 kg |
| Magnesium (Mg) | 17 kg |
| Eisen (Fe) | 12 kg |
| Natrium (Na) | 20 kg |
| Mangan (Mn) | 13 kg |

Tabelle 9: Pflanzennährstoffgehalt in kg pro Tonne trockene Rohasche (27).

Staub, Pilzsporen und Bakterien haben oft eine Größe von 1-5 µm, d.h. 1-5 Tausendstel mm. Sie werden leicht aufgewirbelt und schweben lange in der Luft. Viele Pilzsporen und Bakterien reizen nicht nur Schleimhäute und Lungen, sondern können auch Allergien auslösen.

Typische Symptome sind Atembeschwerden, Erkältung, tränende Augen, Fieber, Schüttelfrost, Husten, Kopfschmerzen, Muskel- und Gliederschmerzen, Magenbeschwerden, Gewichtsverlust sowie Unpässlichkeit und Müdigkeit. Erkrankungen durch das Einatmen von Bakterien und Pilzsporen können entweder akut oder chronisch sein.

Akute Erkrankung

Die akute Erkrankung wird oft als "ODTS" (organic dust toxic syndrome - Vergiftung durch organischen Staub) bezeichnet und tritt typisch dann auf, wenn man einer sehr hohen Konzentration von Sporen und/oder Staub in der Luft (oft 9-10 Millionen Partikel pro Liter Luft oder mehr) ausgesetzt ist. Zum Vergleich enthält die Luft normalerweise 10-30.000 Sporen pro Liter (43).

Charakteristisch für ODTS sind grippeähnliche Symptome wie Fieber, Schüttelfrost, Muskel- und Gliederschmerzen, evtl. Husten und leichte Atemnot. Die Symptome treten oft nach 4-8 Stunden auf und halten selten länger als 1-3 Tage an. Die Erkrankung ist nicht behandlungs-

bedürftig und führt auch nicht zu bleibenden Schäden. Wiederholte Einwirkungen sind jedoch zu vermeiden. Teils wegen des damit verbundenen Unwohlseins und der krankheitsbedingten Abwesenheit vom Arbeitsplatz, teils wegen des Risikos einer chronischen Erkrankung (44, 45).

Chronische Erkrankung

Die chronischen Atemwegserkrankungen werden normalerweise nach der Art ihres Entstehens bezeichnet, z.B. als Staublungge. Die internationale Bezeichnung für die chronische Erkrankung ist "allergic alveolitis" (AA), also eine allergisch hervorgerufene entzündliche Reaktion der Lungenbläschen. Diese entsteht normalerweise erst, nachdem man über einen langen Zeitraum Luft mit einem mittleren bis hohen Gehalt an Pilzsporen oder Bakterien ausgesetzt war, normalerweise mindestens 2-3 Mio. Mikroorganismen pro Liter Luft. Die häufigsten Begleiterscheinungen bei einer AA sind Atemnot, Husten, Fieber und Gewichtsverlust, u.U. begleitet von einer Kombination der übrigen Symptome. Die Symptome zeigen sich wie bei ODS erst nach 6-8 Stunden. Die Erkrankung entwickelt sich oft allmählich, wird schließlich chronisch und verschlimmert sich, sobald der Betreffende wieder mit Pilzsporen oder Bakterien in Berührung kommt (46, 44).

Das chronische Krankheitsbild ist sehr selten und setzt vermutlich eine gewisse Veranlagung der Person voraus. Tritt es jedoch ein, sind die Folgen durchaus ernster Natur. Zum einen durch die permanente Schädigung der Lungen, zum anderen durch eine größere Empfindlichkeit gegen die Mikroorganismen der Luft (46). Symptome können so bereits bei geringeren Sporenkonzentrationen als den ursprünglich krankheitsauslösenden auftreten. Personen mit einer allergischen Alveolitis können daher gezwungen sein, den Arbeitsplatz zu wechseln, falls ein Arbeiten in sporenfreier Umgebung nicht möglich ist. Eine allergische Alveolitis muss dem dänischen Landesversicherungsamt für Arbeitsunfälle und Berufskrankheiten (Arbejdsskadesyrelsen) gemeldet werden.

Arbeitsprozesse mit besonders hohem Risiko

Bei frischem Hackschnitzel treten selten Probleme mit Mikroorganismen auf. Ge-

lagert wird Hackschnitzel im Wald oder bei den Heizwerken normalerweise in nicht abgedeckten Haufen, im Wald aber auch unter einer Plane oder Plastikfolie. Gesundheitsprobleme durch Bakterien und Pilzsporen treten besonders bei Hackschnitzel aus solchen Depots auf.

Holzpellets bestehen aus gepressten Spänen und Sägemehl. Man vermutet, dass das Hantieren von Holzpellets zu Staubproblemen führt, nähere Untersuchungen darüber liegen aber nicht vor. Unter allen Umständen können sowohl für Hackschnitzel wie für Holzpellets eine Reihe von Arbeitssituationen genannt werden, in denen Probleme mit Staub und Mikroorganismen auftreten können.

- Hackschnitzeldepots in Wäldern oder bei den Heizwerken werden oft mit einem Traktor oder Schaufellader geräumt. Dabei werden Sporen und Bakterien aufgewirbelt. Bei einer offenen Führerkabine ist der Fahrer den Mikroorganismen in der Luft ausgesetzt. Gleiches gilt beim Abladen des Hackschnitzels.
- Bei Anlieferung des Hackschnitzels im Heizwerk werden Proben zur Bestimmung des Feuchtegehalts aus dem Haufen entnommen. Dabei wird häufig eine Schaufel benutzt. Die betreffende Person ist dadurch den Mikroorganismen in der Luft ausgesetzt.
- Ein Hackschnitzeldepot in einem geschlossenen Raum ist ohne Zweifel der Ort mit der höchsten Konzentration an Staub und Mikroorganismen. Die Verbrennungsanlage wird normalerweise automatisch mit Hilfe eines Krans mit Hackschnitzel beschickt, und der Prozess kann von außen überwacht werden. Der Aufenthalt von Personen im Hackschnitzeldepot ist daher nur bei Reparatur- und Wartungsarbeiten oder zur Behebung von Betriebsstörungen erforderlich. Ohne Atemschutzgerät sind diese Personen erheblichen Partikelkonzentrationen ausgesetzt.
- Kleinere Hackschnitzel-Verbrennungsanlagen werden oft manuell beschickt, das Hackschnitzel wird entweder mit einem Traktor oder manuell aus dem Zwischenlager geholt. Dabei besteht ein gewisses Risiko, dass die damit beschäftigten Personen einer krankheits-erregenden Konzentration von Staub und Mikroorganismen ausgesetzt sind. Von einer Lagerung des Hackschnitzels in der Nähe bewohnter Räume ist unbedingt abzuraten.
- Wird das Hackschnitzel in Silos aufbewahrt, kann es zu einer Einsilierung kommen, bei der der Luftsauerstoff verbraucht wird, oder es können sich nitrose Gase bilden.
- Bei Holzpellets kann es beim Abladen, beim Transport und beim Beschicken der Anlage zu Staubproblemen kommen.



foto: nils rosenvoid

Der Arbeiter trägt Schutzausrüstung mit Maske, P3-Filter und Gebläse - hier bei der Reinigung von Maschinen im Måbjerg-Werk.

Abhilfe

Wenn das Hackschnitzel lange Zeit unter Bedingungen gelagert wurde, die das Pilz- und Bakterienwachstum fördern, müssen die Personen, die mit dem Hackschnitzel in Berührung kommen, geschützt werden. Dies gilt sowohl im Wald als auch beim Verbraucher. Gleiches gilt, falls Holzpellets zu Staubproblemen führen.

Als Erstes müssen die Orte und Arbeitssituationen bestimmt werden, wo ein Risiko bestehen kann. Der Umfang des Problems kann eventuell durch einen Sporenfangtest festgestellt werden. Hackschnitzel, das stark von Schimmelpilzen befallen ist, riecht oft muffig. Unterschieden werden muss außerdem zwischen einer langdauernden Einwirkung durch mäßige bis große Sporenmengen und einer kurzen, starken Einwirkung durch große Sporenmengen.

Wenn von einer konstanten Konzentration von Staub und Mikroorganismen in der Luft ausgegangen werden kann, sollten die Arbeitsprozesse automatisiert sein, so dass sie von abgeschirmten Räumen aus gesteuert oder überwacht werden können. Besonders in einem geschlossenen Depot mit Kranbeschickung der Verbrennungsanlage ist es

wichtig, die im Werk Beschäftigten zu isolieren, z.B. indem die Überwachung von geschlossenen Räumen mit Überdruck aus erfolgt oder indem die Luft aus dem Hackschnitzeldepot mit in die Verbrennungsanlage gezogen wird, so dass ein leichter Unterdruck entsteht.

Bei der Entnahme von Proben zur Bestimmung des Feuchtegehalts oder beim Abladen ist eine Abschirmung kaum möglich. Hierbei sollten die Beteiligten Atemschutzgeräte tragen. LKW-Fahrer, die regelmäßig Hackschnitzel transportieren, sollten über das Problem informiert werden.

Bei Häusern, die Hackschnitzel verfeuern, ist es sehr wichtig, über Probleme mit Staub und Mikroorganismen zu informieren. Bereits in der Installationsphase sollte das Problem berücksichtigt werden, so dass Depot und Verbrennungsanlage zweckmäßig in einem Anbau untergebracht werden können und so wenig manuelle Arbeitsschritte wie möglich erforderlich sind. Die Lüftungsanlage muss so ausgelegt sein, dass die Sporen aus Bereichen, in denen sich regelmäßig Personen aufhalten, abgesaugt werden. Eine Unterweisung im Gebrauch von persönlicher Schutzausrüstung ist anzuraten.

Ein Beispiel für eine Arbeit, bei der man sich kurzzeitig in einem Bereich mit hohen Staub- und Sporenkonzentrationen aufhält, ist die Reparatur eines Krans in einem geschlossenen Depot. Die beteiligten Personen müssen ein Atemschutzgerät mit einem Filter der Klasse P3 und einem Gebläse tragen. Diese Geräte sind normalerweise transportabel, d.h. Filter und Gebläse hängen an einem Gürtel. Personen, die oft in verschmutzter Umgebung arbeiten oder allergisch sind, sollten einen Atemschutz mit Frischluftzufuhr tragen, der aus einer fest installierten Einheit mit einem Kompressor und einem Luftschlauch besteht, der an verschiedenen Stellen im Gebäude angeschlossen werden kann. Bei der Arbeit in Hackschnitzelsilos müssen ein Atemschutzgerät mit Frischluftzufuhr und eine Rettungsleine benutzt werden (47).

Da das Arbeiten in Schutzausrüstung nicht sehr angenehm ist, sollte es auf kurzzeitige Einsätze beschränkt bleiben. Persönliche Schutzausrüstung ist keine Lösung bei einer konstant hohen Kontamination durch Staub und Sporen - hier ist stattdessen eine Änderung der Arbeitsbedingungen und der Be- und Entlüftungsverhältnisse erforderlich.