

Til
Banedanmark

Dokumenttype
Fagnotat

Dato
Marts, 2022

HASTIGHEDSOPGRADERING - RINGSTED-SLAGELSE STØJ OG VIBRATIONER I DRIFTSFASEN

HASTIGHEDSOPGRADERING - RINGSTED-SLAGELSE STØJ OG VIBRATIONER I DRIFTSFASEN

Projekt navn **Ringsted-Slagelse, sporforny. og hastighedsopgr**
Projektnr. **1100048172-010**
Modtager **Banedanmark**
Dokumenttype **Fagnotat**
Version **1**
Dato **23/3-2022**
Udarbejdet af **Jean Mai, Rasmus Stilling Krogh**
Kontrolleret af **Rasmus Stilling Krogh**
Godkendt af **Jean Mai**
Beskrivelse **Beregning af støj og vibrationer fra jernbanen Rg-Sg**

Rambøll
Hannemanns Allé 53
DK-2300 København S

T +45 5161 1000
<https://dk.ramboll.com>

INDHOLD

1.	Indledning	2
2.	Hvad er støj	2
3.	Grænseværdier for støj og vibrationer	5
4.	Metode	8
4.1	Støj i driftsfasen	8
4.1.1	Beregningsmodel	8
4.1.2	Togtyper	9
4.1.3	Trafikgrundlag	10
4.1.4	Støjbelastede boliger	12
4.1.5	Støjbelastningstal	13
4.1.6	Kriterie for støjskærme	13
4.2	Vibrationer i driftsfasen	14
4.2.1	Tog- og sportype	14
4.2.2	Udbredelse, geologiske forhold	14
4.2.3	Modtagerforhold, bygningstyper og egen resonans	14
4.2.4	Hastigheder	15
4.2.5	Grænseværdiafstande for mærkbare vibrationer	15
4.2.6	Afværgeforanstaltninger	16
5.	Dagens situation	17
5.1	Støj i driftsfasen	17
5.2	Vibrationer i driftsfasen	18
6.	Konsekvenser og afværgeforanstaltninger i driftsfasen – varige påvirkninger	19
6.1	Støjpåvirkning i driftsfasen	19
6.2	Vibrationer i driftsfasen	20
6.3	Konsekvensvurdering	20
6.3.1	Støj	20
6.3.2	Vibrationer	21
6.4	Afværgeforanstaltninger	21
6.4.1	Støj	21
6.4.2	Vibrationer	22
7.	Akustiske begreber	23

1. INDLEDNING

I forbindelse med en større hastighedsopgradering af jernbanestrækningen mellem Ringsted og Odense har Rambøll udarbejdet denne baggrundsrapport for Banedanmark, der beskriver de støj- og vibrationsmæssige konsekvenser, hastighedsopgraderingen af jernbanen mellem Ringsted og Slagelse vil medføre. Hastighedsopgraderingen vil muliggøre kørsel op til 200 km/t på en del af denne strækning.

Undersøgelsen omfatter projektforslaget for den hastighedsopgraderede situation og dagens situation i driftsfasen.

Dagens situation

Dagens situation beskriver de støj- og vibrationsmæssige konsekvenser for den eksisterende situation og en trafikmængde for år 2022. Strækningshastigheden for dagens situation er op til 160 km/t for konventionelle tog. Det oplyste trafikgrundlag for år 2022 er identisk med Trafikstyrelsens grundlag for år 2019¹.

Projektforslag – Hastighedsopgradering 2030

I projektforslaget vil en del af strækningen mellem Ringsted og Slagelse hastighedsopgraderes til 200 km/t (fra km 72,00 til 89,27). Det trafikale grundlag for undersøgelsen af de støj- og vibrationsmæssige konsekvenser for projektforslaget repræsenterer år 2030 og svarer til Trafikstyrelsens grundlag for år 2032¹. Det forudsættes, at der dels kører nyt persontogsmateriel samt at mængden af godstog er reduceret markant som følge af Femern forbindelsen.

Støjforholdene er for begge situationer undersøgt ved beregning af facadestøj ved boliger langs strækningen. Vibrationsforholdene er undersøgt ved orienterende beregninger med Banedanmarks vibrationsmodel under simplificerede forhold.

2. HVAD ER STØJ

Støj kan generelt defineres som uønsket lyd og støj måles i enheden decibel, forkortet dB(A). I forbindelse med støj fra jernbaner anvendes betegnelsen dB(A), hvor 'A' betyder, at man har taget hensyn til det menneskelige øres opfattelse af lyd.

Til beskrivelse af støj fra jernbaner benyttes støjindikatoren L_{den} i dB. Indikatoren repræsenterer støjniveauets årsmiddelværdi. Den er desuden en sammenvejning af støjen i tidsperioderne dag (kl. 07-19), aften (kl. 19-22) og nat (kl. 22-07), hvor der tilføjes et tillæg på 5 dB til støjen i aftenperioden og 10 dB til støjen i natperioden før en middelværdi beregnes. Formålet er at tage højde for menneskers særlige støjfølsomhed om aftenen og om natten.

Støjens styrke angives som et antal decibel (forkortet: dB). 0 dB svarer til den svageste lyd et menneske kan høre. 120 dB er så kraftig støj, at det kan gøre ondt i ørene.

Skalaen for støj er logaritmisk. Det betyder, at man ikke uden videre kan lægge støjniveauer sammen. Hvis man f.eks. lægger støjen fra to lige kraftige støjkluder sammen, bliver støjniveauet altid 3 dB højere. En ændring på 3 dB svarer altså til en fordobling eller halvering af støjen (f.eks.

¹ "Trafikdata til grundlag for støjeregninger – opgørelse for den statslige jernbane 2019 og 2032" af Trafikstyrelsen.

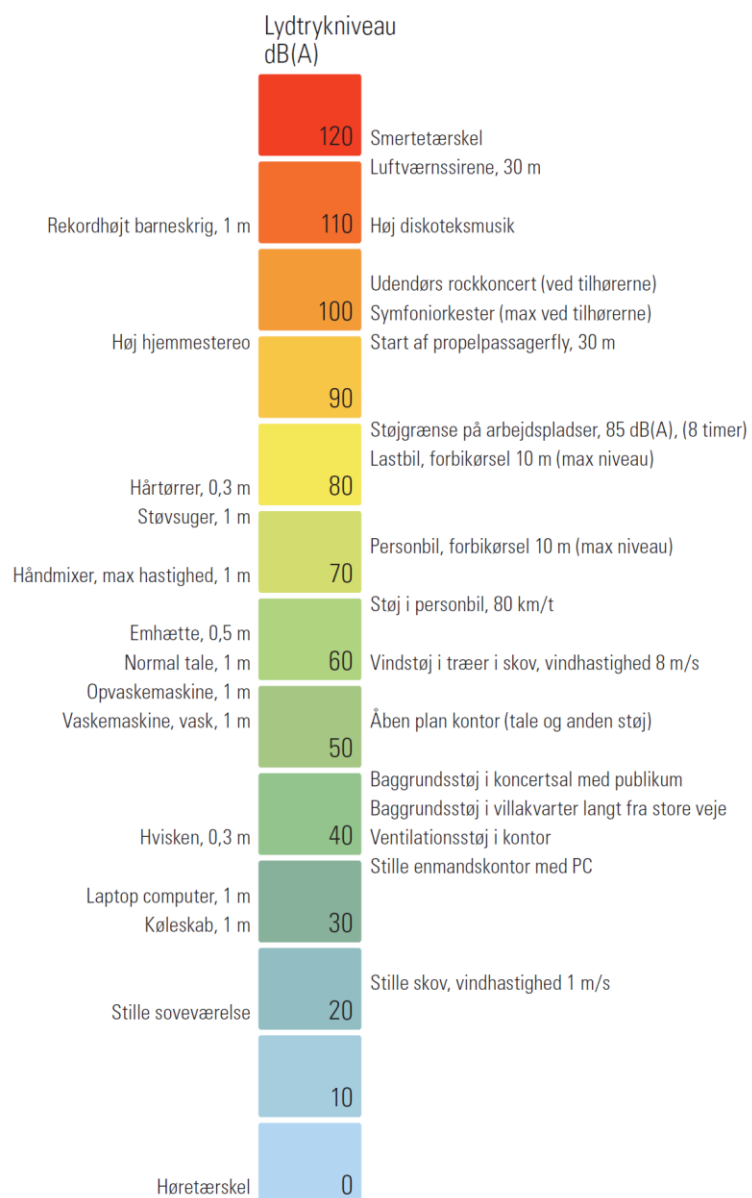
ved en fordobling eller halvering af trafikken på en jernbane), men lyder kun som en lille ændring af det hørbare støjniveau. Oplevelsen af ændringer i støjen kan være vanskelig at beskrive med ord, følgende er et forsøg på dette:

- 1 dB er den mindste ændring et menneske kan opfatte
- 2 dB er en netop hørbar ændring
- 3 dB er en lille ændring
- 5 dB er en væsentlig og tydelig ændring
- 10 dB er en stor ændring. Lyder som en halvering af støjen
- 20 dB er en meget stor ændring

Ved vurdering af jernbanestøj undersøges maksimalstøjniveauet L_{pAmax} i dB også. Maksimalstøjniveauet er en betegnelse for det højeste støjniveau, der forekommer under det mest støjende forbi passerende tog.

Der er stor forskel på, hvordan mennesker oplever trafikstøj. Graden af gene afhænger især af støjens karakter (intensitet, frekvensfordeling, fordeling over døgnet etc.), men også sociale og psykologiske faktorer spiller ind.

For at give en ide om hvad forskellige støjniveauer svarer til, er der herefter gengivet et "støjbarometer", som angiver støjniveauet fra forskellige kilder i forskellig afstand.



Figur 1 Støjbarometer (Kilde: DELTA).

3. GRÆNSEVÆRDIER FOR STØJ OG VIBRATIONER

De vejledende grænseværdier for støj fra jernbaner er beskrevet i Miljøstyrelsens vejledning nr. 1/1997 "Støj og vibrationer fra jernbaner" samt tillægget hertil dateret juli 2007².

De vejledende grænseværdier fra Miljøstyrelsen er gengivet i Tabel 1 og gælder for fritfeltsværdien. Fritfeltsværdi indebærer støjniveauet uden indregning af lydrefleksion fra boligens egen facade. Grænseværdierne danner grundlag ved udarbejdelse af kommune- og lokalplaner og gælder for planlægning af ny støjfølsom anvendelse i nærheden af eksisterende jernbaner. Samtidigt danner grænseværdierne også til grundlag for vurdering af støjulemper ved eksisterende boliger langs eksisterende jernbaner.

Tabel 1 Miljøstyrelsens vejledende grænseværdier for jernbanestøj. L_{pAmax} angiver maksimalværdien for det maksimale støjniveau ved én togpassage.

Områdetype	Vejledende grænseværdi for jernbanestøj
Rekreative områder i det åbne land, sommerhusområder, campingpladser ol.	$L_{den} = 59 \text{ dB}$
Boligområder, børnehaver, vuggestuer, skoler og undervisningsbygninger, plejehjem, hospitaler ol. Desuden kolonihaver, udendørs opholdsarealer og bydelsparker.	$L_{den} = 64 \text{ dB(A)}$ ($L_{pAmax} = 85 \text{ dB(A)}$ ved boliger)
Hoteller, kontorer mv.	$L_{den} = 69 \text{ dB(A)}$

I denne undersøgelse betragtes alene boliger og andre bygninger med anden støjfølsom anvendelse som f.eks. kollegium. En bolig anses som støjbelastet, hvis $L_{den} > 64 \text{ dB(A)}$ eller $L_{pAmax} > 85 \text{ dB(A)}$.

De vejledende grænseværdier for vibrationer fra jernbaner er beskrevet i Miljøstyrelsens vejledning nr. 9/1997 "Lavfrekvent støj, infralyd og vibrationer i eksternt miljø". De vejledende grænseværdier er knyttet til et indendørs niveau på gulvet i boliger og er fastsat ud fra genevirkningen over for mennesker. Grænseværdierne er helt generelle og knytter sig ikke specielt til jernbaner. I

² "Tillæg til vejledning nr. 1/1997: Støj og vibrationer fra jernbaner" af Miljøstyrelsen.

Tabel 2 er grænseværdierne gengivet.

Tabel 2 Miljøstyrelsens vejledende grænseværdier for vibrationer.

Områdetype	Vejledende grænseværdi for mærkbare vibrationer
Boliger i boligområde (hele døgnet) Boliger i blandet bolig/erhvervsområde kl. 18-07 Børneinstitutioner og lignende	$L_{aw} = 75 \text{ dB(KB)}$
Boliger i blandet bolig/erhvervsområde kl. 07-18 Kontorer, undervisningslokaler, o.l.	$L_{aw} = 80 \text{ dB(KB)}$
Erhvervsbebyggelse	$L_{aw} = 85 \text{ dB(KB)}$

KB angiver det vægtede vibrationsniveau ift. helkropsvibrationer. Menneskets følegrænse for netop mærkbare vibrationer er ca. 71-72 dB(KB). En vibrationspåvirkning kan således godt være mærkbar uden at grænseværdien er overskredet.

4. METODE

4.1 Støj i driftsfasen

De støjmæssige konsekvenser fra jernbanedriften er undersøgt ved brug af en beregningsmodel, som er beskrevet i de følgende afsnit. I praksis er støjberegningerne foretaget i pc-programmet SoundPLAN, version 8.2 med opdatering af 03-11-2021. Heri er der opbygget en tredimensionel model af området omkring jernbanestrækningen mellem Ringsted og Slagelse og i en tilstrækkelig udstrækning herfra.

Beregningerne er udført i henhold til Miljøstyrelsens vejledning nr. 1/1997 "Støj og vibrationer fra jernbaner" samt tillægget hertil² og ved brug af beregningsmetoden Nord2000, som er en fælles nordisk metode til beregning af støj fra bl.a. vejtrafik og jernbaner.

4.1.1 Beregningsmodel

Som grundlag for beregningsmodellen er der taget udgangspunkt i de eksisterende forhold i området, der kan have betydning for støjudbredelsen, herunder terrænforhold og bygninger.

Beregningsmodellen strækker sig fra øst for Ringsted til vest for Slagelse. Undersøgelingsområdet, hvori facadestøj på boliger er undersøgt, er afgrænset i østlig ende ved km 65,33 (ved Ringsted) og i vestlig ende ved km 89,80 (ved Slagelse). Jernbanestrækningen hastighedsopgraderes mellem km 72,00 og 89,27 i projektforslaget. Denne del er illustreret på Figur 2.



Figur 2 Illustration af den strækningsdel der hastighedsopgraderes til 200 km/t i projektforslaget.

Udover jernbanestrækningen mellem Ringsted og Slagelse er også strækningen mellem Ringsted og Næstved inkluderet i støjberegningerne. Strækningen er taget med i støjberegningerne, da der kan forekomme et lille støjbidrag herfra i den østligste ende af beregningsområdet.

Terrængrundlaget til beregningsmodellen er indhentet som en punktsky fra Datafordeler (Styrelsen for Dataforsyning og Effektivisering), januar 2022. Terrænet for projektområdet kan karakteriseres som overvejende ikke befæstet og er som udgangspunkt indarbejdet som akustisk blødt terræn. Hårde overflader som søer, erhvervsområder, bymidter mm. er indarbejdet som akustisk hårdt terræn.

Bygninger, herunder placering og udstrækning, er indhentet som teknisk kort ved Kortforsyningen, januar 2022. I støjberegningerne tages der hensyn til både den afskærmende og reflekterende virkning som hhv. bygningerne og bygningsfacaderne kan give til lyden. Der er for

bygninger benyttet en absorptionskoefficient på 0,2 svarende til et refleksionstab på 1 dB. Med undtagelse af mindre bygninger med et areal mindre end 10 m² indgår alle bygninger i modelområdet i støj kortlægningen. Højden af bygningerne er for hovedparten beregnet ud fra oplysninger om tagrendehøjder over terræn og etageantal. Herudover er udtræk fra BBR-registeret (Bygnings- og Boligregistret) anvendt til udpegnings af bygninger med bolig og anden støjfølsom anvendelse. BBR-udtrækket er også benyttet til præcisering af etageantal og bygningshøjder. BBR-data er trukket februar 2022.

Oversigt over bygningstyper som indgår i støjundersøgelsens opgørelser, kan i Tabel 3.

Tabel 3 Oversigt over bygningstyper, der indgår i støjundersøgelsens opgørelser af antal støjbelastede boliger og andre bygninger.

Bygningsanvendelse i resultatskemaer	BBR bygningskategorier	
	Kode	Betegnelse
Parcel- og rækkehuse, stuehuse m.m.	110	Stuehus til landbrugsejendom
	120	Fritliggende enfamiliehus
	130	Række-, kæde- eller dobbelthus
	190	Anden bygning til helårsbebyggelse
Etageboliger og kollegielejligheder	140	Bolig i etageboligbebyggelse
	150	Kollegieværelse/lejlighed
Døgninstitution	160	Døgninstitution
Øvrige bygninger med boligareal. Sommerhuse, kolonihaver mm. indgår ikke i denne kategori	> 190	Diverse bygninger med tilknyttet bolig

Jernbanetracé, herunder placering og udstrækning, er ligeledes indhentet som teknisk kort ved Kortforsyningen, januar 2022. Udover jernbanestrækningen mellem Ringsted og Slagelse er også strækningen mellem Ringsted og Næstved inkluderet i støj beregningerne. Strækningen er taget med i støj beregningerne, da der kan forekomme et lille støjbidrag herfra i den østligste ende af beregningsområdet.

Ved kørsel gennem sporskifte tillægges der 6 dB til kildestyrken i forhold til kørsel på et normalt spor jf. vejledning nr. 5/1985 "Beregning af støj fra jernbaner" af Miljøstyrelsen ved beregning af maksimalstøjniveauet.

Eksisterende støjskærme langs jernbanestrækningen er indarbejdet med en højde på 2 meter over skinneoverkant og med et refleksionstab på 10 dB. Der er indlagt tre støjskærm ved hhv. km 71,06 – 71,91 i østgående retning, og km 72,09 – 72,66 og 77,95 – 78,26 i vestgående retning.

4.1.2 Togtyper

Støj fra forbi passerende tog opstår primært ved kontakten mellem hjul og skinne, og udstråles ligeledes herfra. Ved lave hastigheder dominerer støj fra togets motor og udstødning, og ved høje hastigheder vil den aerodynamiske støj dominere.

I undersøgelsen indgår en række eksisterende og fremtidige togtyper. Kildedata til beregning af støj bredelsen fra eksisterende tog er velkendte og implementeret i den anvendte støj beregningsmetode, Nord2000. Kildedata for fremtidige tog, herunder højhastighedstog og godstog, stammer fra "Teknisk Notat, Forudsætninger for støjundersøgelser i Timemodellen" af Vejdirektoratet.

For fremtidige højhastighedstog med en maksimalhastighed på 200 km/t er der anvendt kildedata for eksisterende IC3/IR4 materiel med modificerede tal. Denne togtype benævnes fremover ET, for elektrisk togsæt, og skal ikke forveksles med Øresundstoget, der normalt har denne benævnelse i støjmæssig sammenhæng.

For godstog i fremtiden antages det ofte, at disse vil støje på samme niveau som i dag. Denne antagelse vurderes dog at være konservativ, da der i flere lande arbejdes med at reducere støjen fra godstog primært ved udskiftning af godsvognenes bremseklodser. Udskiftningen af bremseklodser på eksisterende godstog benævnes retrofitting, hvorfor disse godstog fremover benævnes retrofittede godstog. Jf. notatet fra Vejdirektoratet vurderes det, at et passende minimumsscenario for retrofitting af godsvogne er mindst 60 % i 2028/2030. For godstog i fremtiden antages det derfor, at 60 % vil være retrofittede og de resterende uændret ift. støj.

Derudover anvendes lokomotivtrukne passagertog både i dagens situation og projektforslaget. Kildedata for disse indgår i Nord2000 beregningsmetoden.

4.1.3 Trafikgrundlag

Det trafikale grundlag, herunder togmængder og hastigheder, til beregning af støj fra jernbaner stammer fra Trafikstyrelsen¹ og oplysninger fra Banedanmark.

4.1.3.1 Togmængder

Ved beregningerne er der anvendt trafikmængder (togmeter pr. årsmiddeldøgn) og togtyper som anført i Tabel 4. Trafikmængder for dagens situation og projektforslag er oplyst af Banedanmark og stammer fra "Trafikdata til grundlag for støjberegninger – opgørelse for den statslige jernbane 2019 og 2032" af Trafikstyrelsen for hhv. år 2019 og 2032.

Tabel 4 Anvendt trafikmængder for dagens situation og projektforslag. Trafikmængder i 1000 togmeter pr. døgn.

Strækning	Togtype	Dagens situation "2019"			Projektforslag "2032"		
		Dag	Aften	Nat	Dag	Aften	Nat
Ringsted – Slagelse	IC-passagertog	9,0	2,2	2,3	-	-	-
	ET-passagertog	-	-	-	18,8	2,3	3,9
	Lok. passagertog	1,1	-	0,2	-	-	-
	Godstog	6,5	2,5	6,5	1,3	0,3	1,0
	Retrofittede godstog	-	-	-	2,0	0,5	1,5
Ringsted – Næstved	IC-passagertog	0,3	0,1	0,1	5,6	0,4	0,6
	ET-passagertog	-	-	-	-	-	-
	Lok. passagertog	6,2	1,4	1,8	5,4	1,1	1,4
	Godstog	0,1	-	-	15,1	3,9	11,2
	Retrofittede godstog	-	-	-	-	-	-

ET-passagertog repræsenterer nye elektriske togsæt.

4.1.3.2 Hastigheder

Togenes hastigheder varierer afhængig af togtype, lokale hastighedsbegrænsninger og hvorvidt togene standser ved stationer. Ved køreplanlægning er der typisk tillagt ekstra tid til standsning og ophold ved stationer, plus en sikkerhedsmargin. Derfor vil ikke alle tog køre med den højeste

mulige hastighed. Som grundlag for støjberegninger er det praksis at anvende køreplanhastigheden, der angiver den gennemsnitlige hastighed et tog skal opretholde for at overholde køreplanen mellem to standsningssteder.

Køreplanshastigheden er fastsat til 90 % af strækningshastigheden, hvor strækningshastigheden er den laveste hastighed af enten den højeste tilladte hastighed på en strækning eller togtypens maksimalhastighed. Da der er erfaring for, at persontog kan blive forsinkede og derfor søger at indhente forsinkelsen, er det ved støjberegningerne forudsat, at 85 % af persontogene kører med køreplanhastigheden og 15 % kører med den maksimale strækningshastighed. For godstog er det forudsat, at disse kører med strækningshastigheden, såfremt den lokale hastighedsbegrænsning ikke er begrænsende.

For at begrænse mængden af data i beregningsmodellen anvendes der en såkaldt vægtet hastighed v_{res} , som er bestemt ved:

$$v_{res} = \sqrt[3]{0,15 \cdot v_{max}^3 + 0,85 \cdot v_{kpl}^3}$$

Strækningshastigheden for de to inkluderede strækninger er 160 km/t for dagens situation og 200 km/t for projektforslaget for strækningen Ringsted – Slagelse. De anvendte hastigheder fremgår af Tabel 5.

Tabel 5 Oversigt over de anvendte togtypers maksimal-, køreplanshastighed og vægtet hastighed. For lokomotivtrukne passagertog er hastigheder for projektforslag ikke inkluderet, da togtypen i det fremtidige scenarie ikke forventes at være i drift på strækningen.

Togtype	Maksimalhastighed	Køreplanshastighed	Resulterende hastighed
IC-passagertog	180 km/t	144 km/t	147 km/t
ET-passagertog	200 km/t	180 km/t	183 km/t
Lokomotivtrukne passagertog	160 km/t	144 km/t	147 km/t
Godstog (inkl. Retrofittede godstog)	120 km/t	108 km/t	110 km/t

ET-passagertog repræsenterer nye elektriske togsæt.

Maksimalstøjniveauet for en given togpassage afhænger af togets længde. Overslagsberegninger viser, at godstog ved sin maksimale driftshastighed på 120 km/t resulterer i det højeste maksimalstøjniveau, L_{pAmax} langs strækningen. I beregningerne er der anvendt en maksimal toglængde for godstog på 835 m.

4.1.3.3 Standsende tog og hastighedsbegrænsninger

Standsende og gennemkørende tog er fastsat ud fra gældende køreplan dags dato³ og ud fra oplysninger fra Banedanmark. Overordnet er det forudsat, at lokomotivtrukne passagertog standser ved alle stationer og godstog er gennemkørende ved alle stationer. For IC-tog er det for dagens situation forudsat, at 61 % standser ved alle stationer og 43 % ved projektforslag. Resterende tog er forudsat gennemkørende ved alle stationer.

³ Køreplan for "Sjælland, Lolland og Falster - 12.12.2021-10.12.2022" af DSB.

For ikke at overestimere støj ved stationsområderne er der for standsende tog anvendt reduceret hastighed i varierende afstande omkring stationerne. I Tabel 6 ses de anvendte standsningsmønstre, herunder nedbremsning og acceleration, for eksisterende togtyper. For de fremtidige højhastighedstog er standsningsmønsteret vist i Tabel 7 og Tabel 8 for hhv. nedbremsning og acceleration.

Tabel 6 Standsningsmønstre for anvendte togtyper for dagens situation med strækningshastigheder op til 160 km/t.

Togtype	Nedbremsning			Acceleration		
	2.000-1.000 meter	1.000-500 meter	500-0 meter	0-500 meter	500-1.000 meter	1.000-2.000 meter
IC-tog	175 km/t	130 km/t	80 km/t	70 km/t	95 km/t	115 km/t
Lok. tog	100 km/t	90 km/t	70 km/t	75 km/t	75 km/t	90 km/t
Godstog	100 km/t	90 km/t	55 km/t	35 km/t	50 km/t	60 km/t

Tabel 7 Standsningsmønster for nye togsæt med strækningshastigheder op til 200 km/t. Nedbremsning før en station.

Togtype	Nedbremsning			
	3.000-2.000 meter	2.000-1.000 meter	1.000-500 meter	500-0 meter
ET-tog	191 km/t	159 km/t	114 km/t	71 km/t

Tabel 8 Standsningsmønster for nye togsæt med strækningshastigheder op til 200 km/t. Acceleration fra en station.

Togtype	Acceleration						
	0-500 meter	500-1.000 meter	1.000-2.000 meter	2.000-3.000 meter	3.000-4.000 meter	4.000-5.000 meter	5.000-6.000 meter
ET-tog	63 km/t	97 km/t	127 km/t	151 km/t	168 km/t	180 km/t	193 km/t

Der i beregningerne også taget højde for lokale hastighedsbegrænsninger. Lokale hastighedsbegrænsninger er fastsat ud fra "TIB-S Strækningsoversigter 20.01.2022" fra Banedanmark. I projektforslaget hæves den lokale hastighedsbegrænsningen mellem km 72,00 og 89,27 op til 200 km/t.

De anvendte hastigheder i beregningerne er fastsat ud fra den laveste hastighed af hhv. den vægtede hastighed, lokale hastighedsbegrænsning og standsningsmønstre, og ud fra hvorvidt toget er standsende eller gennemkørende.

4.1.4 Støjbelastede boliger

En bolig anses som støjbelastet, hvis det højeste facadestøjniveau ved boligen overskrider Miljøstyrelsens vejledende grænseværdi. Dvs. at hvis facadestøjniveauet enten overstiger L_{den} 64 dB eller L_{pAmax} overstiger 85 dB jf. Tabel 1, så betragtes boligen som støjbelastet.

Hvis parcel- og rækkehuse, stuehuse og lignende har udnyttet tagetage, betragtes hele boligen ligeledes som støjbelastet, såfremt facadestøjniveauet er overskredet på mindst en facade af etagerne.

Undersøgelsen omfatter en opgørelse af antallet af støjbelastede boliger og andre støjfølsomme bygninger for dagens situation og projektforslaget. Hvorvidt en bygning er en bolig eller anden støjfølsom bygning, er baseret på oplysninger fra Bygnings- og Boligregistret, BBR. Andre støjfølsomme bygninger omfatter bl.a. kollegium, boligbygning til døgninstitution, anden bygning til helårsbeboelse. Bygninger der anvendes som sommerhuse, kolonihaver mm. indgår ikke opgørelsen.

4.1.5 Støjbelastningstal

En bolig kan være støjbelastet i varierende grad afhængig af facadestøjniveauet ved boligen. For at kunne opgøre den samlede støjgene fra en jernbanestrækning for et område, anvendes støjbelastningstallet, SBT. SBT for et område opgøres ved at beregne genefaktoren for hver enkelt bolig, hvorefter genefaktorerne summeres. Genefaktoren er afhængig af det højeste facadestøjniveau ved en bolig og er som udgangspunkt bestemt ud fra, hvor stor en andel af befolkningen, der ved et bestemt støjniveau føler sig generet. Den er lig 0 for boliger, hvor støjbelastningen er under den vejledende grænseværdi. Hvis det maksimalstøjniveau L_{pAmax} er overskredet ved en bolig, er genefaktoren ligeledes lig 0.

Genefaktoren for jernbanestøj beregnes som følgende:

$$\text{Genefaktor} = (7,239 \cdot 10^{-4} \cdot (L_{den} - 42)^3 - 7,851 \cdot 10^{-3} \cdot (L_{den} - 42)^2 + 0,1695 \cdot (L_{den} - 42))/100$$

SBT anvendes som grundlag for udpegning af områder, hvor etablering af en støjskærm kan være relevant ift. at nedsætte støjbelastningen ved en bolig.

4.1.6 Kriterie for støjskærme

Banedanmark anvender normalt et kriterium som grundlag for beslutningstagen om, hvor der skal etableres støjskærme langs jernbanen. Kriteriet er baseret på støjbelastningstallet, SBT, som er bestemt af støjbelastningen givet ved L_{den} og en tilhørende geneværdi.

Forslag til placering af støjskærme udarbejdes på grundlag af den beregnede støjbelastning ved boliger langs jernbanen. En støjbelastning for et afgrænset område, hvor $SBT/km \geq 8$ udløser overvejelser om etablering af støjskærm ved et boligområde.

Forekommer der boligområder langs jernbanen, hvor $SBT/km < 8$, undersøges der, om mindre dele med en tættere bebyggelsesgrad kan overholde kriteriet.

Ved fritliggende boligejendomme eller øvrige boligområder, hvor $SBT/km < 8$ kan facadeisolation bringes i anvendelse, men ikke etablering af støjskærme.

For at opnå tilstrækkelig virkning af en støjskærm skal denne føres et stykke forbi første og sidste hus på strækningen. Det er den enkelte situation og afstand til banen, som er afgørende, men typisk 50-75 m og i visse tilfælde mere. Som udgangspunkt etableres der jf. Banedanmarks praksis ikke skærme kortere end ca. 300 m, med mindre, der kan påvises grundlag herfor. Endvidere bør støjskærme også dæmpe støjen med mindst 5 dB ved de pågældende boliger.

4.2 Vibrationer i driftsfasen

Beregning af vibrationer i bygninger fra jernbanetraffic indebærer stor usikkerhed, grundet de lokale geologiske forhold, der kan variere bredt i et område, samt variationen i bygningskonstruktionerne. Disse to faktorer har stor betydning for resultatet.

Der eksisterer ingen standardiseret metode til beregning af vibrationsudbredelsen fra jernbaner. I denne undersøgelse beregnes vibrationerne i boligerne ved hjælp af Banedanmarks Vibrationsmodel ver. 1.01. Forudsætningerne til brug af vibrationsmodellen er beskrevet i de følgende afsnit. Vibrationsmodellens opbygning er beskrevet i rapporten "*Ny Vibrationsmodel, januar 2015*" af COWI. I grove træk vurderes vibrationer ud fra togtypen, jernbanen, de geologiske forhold og bygningens dækkonstruktion, og de vurderes alene for et enkelt forbigående tog.

De anvendte forudsætninger tager udgangspunkt i notatet "*VVM-undersøgelse af projekter i Togfonden: Oplæg til beregning af vibrationer med Banedanmarks vibrationsmodel*" af Grontmij dateret 10. februar 2015. Undersøgelsesområdet for vibrationer er tilsvarende det for støjundersøgelsen, fra km 65,33 til 89,80.

4.2.1 Tog- og sportype

Vibrationsmodellen er begrænset i, hvilke kombinationer af tog- og sportype der kan undersøges. På baggrund af en vurdering, undersøges følgende kombinationer af tog- og sportype:

- Persontog, IC3 med en længde på 300 m, hastighed op til 160 km/t og sportype Dbn.
- Persontog, IC3 med en længde på 300 m, hastighed op til 200 km/t og sportype Dbn.
- Persontog, lokomotiv trukket, med en længde på 300 m, hastighed op til 160 km/t og sportype Dbn.
- Godstog med en længde på 835 m, hastighed op til 120 km/t og sportype Dbn.

For fremtidige højhastighedstog i projektforslaget er antaget at have samme vibrationsmæssige egenskaber som IC3.

4.2.2 Udbredelse, geologiske forhold

Vibrationsudbredelsen fra jernbanespor til en bygning er afhængig af de geologiske forhold, herunder jordart, og vil i praksis vil være lokalbestemt for hver enkelt bolig. I denne undersøgelse er der lavet en simplificeret antagelse om, at de geologiske forhold er ens ved alle boliger i undersøgelsesområdet. Det er forudsat, at den hyppigst forekomne jordart i undersøgelsesområdet er moræneler jf. jordartskort fra GEUS og at bølgeudbredelsen sker som overfladebølger. Dette medfører, at der forudsættes moræneler med en middel bølgehastighed på 745 m/s og en middel resonansfrekvens på 99 Hz.

4.2.3 Modtagerforhold, bygningstyper og egen resonans

Ligesom udbredelsen af vibrationer fra jernbanespor til en bygning gennem jorden er lokalbestemt, er bygningers respons på vibrationer også individuelt.

Resonansfrekvensen for en dækkonstruktion er afgørende for, hvilket frekvensområde vibrationer vil kunne føre til gener og dermed det frekvensområde, der bør undersøges. Generelt kan det siges, at enfamilieboliger og etageboliger fra før år 1960 overvejende har træetagedæk i stueetage og på øverste etage. Efter år 1960 begynder dækkonstruktioner i enfamilieboliger og

etageboliger overvejende at være betondæk. Inden for 50 m langs jernbanestrækningen Ringsted – Slagelse i undersøgelsesområdet er ca. 60 % af bygningerne, der anvendes som bolig, opført før år 1960.

For begge typer af dækkonstruktioner har bl.a. dimensionen, tykkelse, og det specifikke materiales styrkeegenskaber betydning for resonansfrekvensen. Et given dæks resonansfrekvens kan alene præcist bestemmes ved måling i den pågældende bolig. I denne undersøgelse er resonansområdet for et etagedæk simplificeret til, hvorvidt det er et træ- eller betondæk. Trædæk har typisk et resonansområde under 20 Hz og betondæk har typisk et resonansområde mellem 20 til 40 Hz. Ud fra fordelingen af boligernes opførelsesår, og hertil type af dækkonstruktion, er det vurderet, at begge disse resonansområderne er relevante for vibrationsundersøgelsen.

4.2.4 Hastigheder

Hastigheder er fastsat efter togtypernes maksimalhastighed, se Afsnit 4.2.1, såfremt den lokale hastighedsbegrænsning ikke er begrænsende. For dagens situation er den lokale hastighedsbegrænsning bestemt ud fra *"TIB-S Strækningsoversigter 20.01.2022"* af Banedanmark og for projektforslaget er den hævet til 200 km/t mellem kilometrering 72,00 og 89,27 i begge retninger.

For dagens situation er den lokale hastighedsbegrænsning overvejende 160 km/t samt 140 km/t ved få korte dele af strækningen. For at simplificere beregningerne mod den sikre side, forudsættes det for vibrationsundersøgelsen, at hastigheden er 160 km/t langs hele strækningen i undersøgelsesområdet. For projektforslaget er den lokale hastighedsbegrænsning overvejende 160 km/t og 200 km/t mellem kilometrering 72,00 og 89,27 (forudsat udvidet til km 89,80). De lokale hastighedsbegrænsninger er forudsat ens for begge retninger og opsummeret i Tabel 9.

Tabel 9 Opsummering forudsatte lokale hastighedsbegrænsninger i begge retninger til vibrationsundersøgelse.

Jernbanestrækning	Dagens situation	Projektforslag
Km 65,33 – 72,00	160 km/t	160 km/t
Km 72,00 – 89,80	160 km/t	200 km/t

4.2.5 Grænseværdiafstande for mærkbare vibrationer

Der er udført beregninger af grænseværdiafstande, dvs. afstanden fra jernbanesporet hvor grænseværdien på $L_{aw} \leq 75$ dB(KB) overholdes, for de forskellige togtyper for hhv. enfamilieboliger op til to etager og for etageboliger op til 4 etager. Grænseværdiafstande er opsummeret i Tabel 10 og er angivet for boliger opført hhv. før og efter år 1960.

Tabel 10 Beregnede grænseværdiafstande for $L_{aw} = 75$ dB(KB) angivet som afstanden for boliger opført hhv. før og efter år 1960. Dimensionsgivende afstande af angivet med fed skrift.

Bygningstype	Godstog 120 km/t	Persontog, IC3 160 km/t	Persontog, IC3 200 km/t	Persontog, lokomotiv trukket 160 km/t
	Før/efter 1960	Før/efter 1960	Før/efter 1960	Før/efter 1960
Etageboliger	12 / 18 m	13 / 14 m	15 / 16 m	15 / 17 m
Enfamilieboliger 1. plan	26 / 40 m	20 / 24 m	22 / 26 m	24 / 30 m
Enfamilieboliger 2. plan	43 / 43 m	31 / 31 m	34 / 34 m	35 / 35 m

Som det kan ses af tabellen, giver godstog anledning til vibrationer over grænseværdien i største omfang for alle bygningstyper med undtagelse af etageboliger opført før år 1960. For etageboliger opført før år 1960 er grænseværdiafstanden for lokomotiv trukne passagertog afgørende for dagens situation. For projektforslaget er hhv. IC3 persontog 160 km/t og 200 km/t afgørende afhængig af strækningdelen.

4.2.6 Afværgeforanstaltninger

Erfaringer med vibrationsisolering af spor i forhold til mærkbare vibrationer i boliger er relativt begrænsede i Danmark. De to mest udbredte metoder på europæisk plan er anvendelse af enten ballastmætter eller svellesåler. Der har i Danmark været gennemført enkelte forsøg med svellesåler. Der er endvidere anvendt svellesåler udvalgte steder på b.l.a. Øresundsbanen og den ny bane København - Ringsted.

På det foreliggende grundlag kan det ikke med sikkerhed afgøres, om boliger/bygninger belastet af jernbanevibrationer kan afhjælpes ved vibrationsisolering af sporet med hverken ballastmætter eller svellesåler. Dertil kræves en nærmere undersøgelse af de konkrete lokale forhold hvis det bliver aktuelt.

5. DAGENS SITUATION

I det følgende vises resultaterne af støj- og vibrationsberegningerne for dagens situation.

5.1 Støjpåvirkning i driftsfasen

Antallet af støjbelastede boliger i undersøgelsesområdet er opgjort i nedenstående tabel. Opgørelsen er i samme tabel opgjort i 5 dB intervaller startende fra 64 dB (grænseværdien for jernbanestøj ved boliger) og underopdelt i bygningsanvendelser.

Tabel 11 Opgørelse af støjbelastede boliger for dagens situation indenfor undersøgelsesområdet. Opgørelsen er underopdelt i bygningsanvendelser.

Bygningsanvendelse	L _{den}					L _{pAmax}	Støj-belastet	SBT
	64-69 dB(A)	69-74 dB(A)	74-79 dB(A)	≥ 79 dB(A)	≥ 64 dB(A)	≥ 85 dB(A)		
Parcel- og rækkehuse, stuehuse m.m.	45	29	10	3	87	84	96	12,7
Etageboliger	4	16	5	1	26	31	31	5,2
Bygninger med anden støjfølsom anvendelse	0	0	0	0	0	0	0	0
Samlet	49	45	15	4	113	115	127	17,9

Det samlede antal støjbelastede boliger langs strækningen, der planlægges hastighedsopgraderet, er opgjort til 127 boliger. Blandt de støjbelastede boliger har 48 boliger tidligere modtaget tilskud til støjisolering via Banedanmark. Det er desuden identificeret, at ingen af de 127 støjbelastede boliger er nyopførte boliger (opført efter 2018). Nyopførte boliger må formodes at være støjbeskyttet via byggereglementets krav.

Tabel 12 Opgørelse over antallet af støjbelastede boliger i dagens situation.

Bygningsanvendelse	L _{den}	L _{pAmax}	Støjbelastede	SBT	Tidligere støjisoleret	Opført efter 2018
	≥ 64 dB(A)	≥ 85 dB(A)				
Boliger i alt	113	115	127	17,9	48	0

5.2 Vibrationer i driftsfasen

Antallet af vibrationsbelastede boliger i undersøgelsesområdet er opgjort i nedenstående tabel. Opgørelsen er herudover underopdelt i boligtyper og opførelsesår.

Tabel 13 Opgørelse af vibrationsbelastede boliger for dagens situation indenfor undersøgelsesområdet. Opgørelsen er underopdelt i boligtyper og opførelsesår.

Boligtype	Boliger belastet over L_{aw} 75 dB(KB)		
	Opført før år 1960	Opført efter år 1960	Boliger i alt
Etageboliger	0	0	0
Enfamilieboliger 1. plan	8	22	30
Enfamilieboliger 2. plan	25	16	41
Samlet	33	38	71

På baggrund af de gennemførte vibrationsberegninger vurderes der at være 71 boliger langs jernbanestrækningen, som i dagens situation kan være belastet af mærkbare vibrationer over den vejledende grænseværdi på 75 dB(KB).

6. KONSEKVENSER OG AFVÆRGEFORANSTALTNINGER I DRIFTSFASEN – VARIGE PÅVIRKNINGER

Projektforslaget beskriver situationen i 2030 efter sporforbedringer og hastighedsopgraderingen, men med en delvis anvendelse af nyere og mindre støjende togmateriel. Trafikgrundlaget repræsenterer en situation, hvor Femernforbindelsen forudsættes åbnet. Dette vil blandt andet bevirke en betydelig reduktion i godstogsmængden vest for Ringsted.

6.1 Støjpåvirkning i driftsfasen

Antallet af støjbelastede boliger i undersøgelsesområdet er opgjort Tabel 14. Opgørelsen er i samme tabel opgjort i 5 dB intervaller startende fra 64 dB (grænseværdien for jernbanestøj ved boliger) og underopdelt i bygningsanvendelser.

Tabel 14 Opgørelse af støjbelastede boliger for projektforslaget indenfor undersøgelsesområdet. Opgørelsen er underopdelt i bygningsanvendelser.

Bygningsanvendelse	L _{den}					L _{pAMax}	Støj-belastet	SBT
	64-69 dB(A)	69-74 dB(A)	74-79 dB(A)	≥ 79 dB(A)	≥ 64 dB(A)	≥ 85 dB(A)		
Parcel- og rækkehuse, stuehuse m.m.	31	8	2	0	41	84	84	8,2
Etageboliger	15	5	1	0	21	31	31	4,7
Bygninger med anden støjfølsom anvendelse	0	0	0	0	0	0	0	0
Samlet	46	13	3	0	62	115	115	12,9

Det samlede antal støjbelastede boliger langs strækningen, der planlægges hastighedsopgraderet, er opgjort til 115 boliger. Blandt de støjbelastede boliger har 45 boliger tidligere modtaget tilskud til støjisolering via Banedanmark. Det er desuden identificeret, at ingen af de 115 støjbelastede boliger er nyopførte boliger (opført efter 2018). Nyopførte boliger må formodes at være støjbeskyttet via byggereglementets krav.

Tabel 15 Opgørelse over antallet af støjbelastede boliger efter hastighedsopgraderingen.

Bygningsanvendelse	L _{den}	L _{pAMax}	Støjbelastede	SBT	Tidligere støjisoleret	Opført efter 2018
	≥ 64 dB(A)	≥ 85 dB(A)				
Boliger i alt	62	115	115	12,9	45	0

6.2 Vibrationer i driftsfasen

Antallet af vibrationsbelastede boliger i undersøgelsesområdet er opgjøret i Tabel 16 Opgørelsen er herudover underopdelt i boligtyper og opførelsesår.

Tabel 16 Opgørelse af vibrationsbelastede boliger efter hastighedsopgraderingen. Opgørelsen er underopdelt i boligtyper og opførelsesår.

Boligtype	Boliger belastet over L_{aw} 75 dB(KB)		
	Opført før år 1960	Opført efter år 1960	Boliger i alt
Etageboliger	0	0	0
Enfamilieboliger 1. plan	8	22	30
Enfamilieboliger 2. plan	25	16	41
Samlet	33	38	71

På baggrund af de gennemførte vibrationsberegninger vurderes der at være 71 boliger langs jernbanestrækningen, som i projektforslaget kan være belastet af mærkbare vibrationer over den vejledende grænseværdi på 75 dB(KB).

Antallet er identisk med opgørelsen for dagens situation, da godstog er i drift under begge situationer og medfører den største grænseværdiafstand, er det kun vibrationsbelastede etageboliger, der vil være til forskel mellem de to situationer. Dog er der ingen etageboliger beliggende indenfor de grænseværdiafstande, der giver anledning til overskridelse af grænseværdien, hvorfor antallet af vibrationsbelastede boliger i undersøgelsesområdet er ens for begge situationer.

6.3 Konsekvensvurdering

6.3.1 Støj

Ved sammenholdelse af opgørelserne for antallet af støjbelastede boliger for hhv. dagens situation og projektforslaget fremgår det, at antallet af støjbelastede boliger hvor $L_{den} \geq 64$ dB(A) er betydeligt reduceret ved projektforslaget. Antallet falder fra 113 boliger til 62 boliger.

Årsagen til det reducerede antal af støjbelastede boliger hvor $L_{den} \geq 64$ dB(A) skyldes hovedsageligt, at mængden af godstog reduceres på strækningen og disse i stedet føres via den kommende Femern forbindelse. Mængden af persontog forøges betydeligt fra dagens situation til projektforslaget, men da fremtidens persontog forventes at støje mindre end dagens persontog og fremtidens godstog ligeledes forventes at støje mindre end dagens godstog, betyder dette, at det samlede støjniveau fra tog på jernbanen reduceres.

Konsekvenserne ved mindre støjende materiel ses blandt andet ved, at støjbelastningstallet (SBT) reduceres fra 17,9 ved dagens situation til 12,9 ved projektforslaget.

Antallet af boliger belastet med maksimalstøjniveauet, $L_{pAmax} \geq 85$ dB(A) er identisk for dagens situation og for projektforslaget. Det skyldes at de i begge situationer er godstog som giver anledning til maksimalstøjniveauet.

Table 17 Opgørelse over antallet af støjbelastede boliger.

	Antal boliger
Antal støjbelastede boliger, dagens situation	127
Antal støjbelastede boliger, projektforslag	115
Nye støjbelastede boliger	0
Nye støjbelastede boliger, der har modtaget støjisolering	0
Nye støjbelastede boliger opført efter 2018	0
Eksisterende støjbelastede boliger med forøgelse af støjen på >1 dB	0

Antallet af støjbelastede boliger bliver i projektforslaget reduceres med 12 boliger fra 127 til 115 boliger.

Med henvisning til Banedanmarks væsentlighedskriterie ydes der tilskud til støjisolering af nye støjbelastede boliger og ved eksisterende støjbelastede boliger hvor støjen forøges med mere end 1 dB som følge af projektet. Der er dog ingen boliger i denne kategori, da støjbelastningen langs jernbanestrækningen overordnet set bliver reduceret.

6.3.2 Vibrationer

På baggrund af de udførte vibrationsberegninger vurderes det, at antallet af vibrationsbelastede boliger i undersøgelsesområdet som følge af hastighedsopgraderingen vil være uændret. Der vil være i alt 71 boliger, hvor grænseværdien L_{aw} 75 dB(KB) vil være overskredet. Dette skyldes at godstog vil være i drift under begge situationer og denne togtype i begge situationer giver anledning til den højeste vibrationspåvirkning.

6.4 Afværgeforanstaltninger

6.4.1 Støj

Det er undersøgt, om der er grundlag for afværgeforanstaltninger i form af nye støjskærme langs jernbanen ud fra de almindelige betingelser om $SBT/km > 8$.

Langs jernbanen er der allerede i anden sammenhæng opstillet en række støjskærme. Samtidigt er et antal støjbelastede boliger langs den eksisterende jernbane blevet tilbudt tilskud til støjisolering af støjbelastede facader via Banedanmarks Støjisoleringsordning. Tilskuddets størrelse var dengang afhængig af støjniveauet på boligens mest støjbelastede facade.

I undersøgelsen af konsekvenserne ved projektforslaget er der ikke fundet nye områder/strækninger, hvor $SBT/km > 8$ og hvor der isoleret set er grundlag for undersøgelse af om en ny støjskærm kan være relevant.

Støjisolering af nye støjbelastede boliger på strækningen forventes foretaget efter Banedanmarks "Policy for håndtering af elektromagnetisme, vibrationer og støj i Banedanmarks opgraderingsprojekter på eksisterende baner", hvori det anføres, at:

“ L_{den} og L_{Amax} for boliger er grundlaget for Banedanmarks vurdering af støjbelastningen og anvendes i forbindelse med markante ændringer af eksisterende banestrækninger. En bolig er reelt først støjbelastet, når $L_{den} \geq 64$ dB eller $L_{Amax} \geq 85$ dB. Banedanmark arbejder derudover, som for vibrationer, med et væsentlighedskriterium svarende til en stigning på mindst 1 dB i forhold til niveauet inden projektet. Væsentlighedskriteriet anvendes for boliger der inden projektet udføres allerede har en støjbelastning over grænseværdierne.”

Støjpolitikken skitserer desuden, at et tilskud til støjisolering gives ud fra støjbelastningsgraden.

Der vil ikke være nogen boliger, der kvalificerer sig til tilskud til støjisolering, da støjbelastningen ved boligerne langs jernbanestrækningen overordnet set bliver reduceret.

6.4.2 Vibrationer

I hastighedsopgraderingsprojektet er vibrationspåvirkningen identisk med dagens situation. Vibrationspåvirkningen er på trods af hastighedsopgraderingen fra 160 km/t til 200 km/t fortsat styret af godstog ved hastighed op til 120 km/t. De spormæssige ændringer er marginale og det vurderes på det foreliggende grundlag, at vibrationsforholdene efter hastighedsopgradering vil forblive uændret. Der vurderes ikke at være grundlag eller behov for afværgeforanstaltninger i forhold til vibrationer fra jernbanen.

7. AKUSTISKE BEGREBER

I dette fagnotat anvendes en række akustiske begreber, som uddybes i det følgende:

Akustisk begreb	Beskrivelse
L _{den}	Beskriver støjniveauet for et årsmiddeldøgn, altså et gennemsnitlig døgn set over et helt år. I aften og natperioden tildeles et tillæg på hhv. +5 dB(A) og +10 dB for at imødekomme en større genevirkning i disse døgnperioder.
L _{pAmax}	Beskriver støjens maksimalværdi ved enkelhændelser; typisk ved forbikørsler i forbindelse med støj fra jernbaner.
L _{aw}	Parameter, der benyttes for mærkbare vibrationer. Angiver det KB-vægtede accelerationsniveau for vibrationerne. Enheden er dB relativ til $1\mu\text{m/s}^2$. KB vægtningen er en korrektion for kroppens følsomhed over for vibrationer af forskellig frekvens. Føletærsklen er for de fleste mennesker ca. 71-72 dB(KB).
V _{peak}	Parameter der anvendes ifm. bygningsskadelige vibrationer. Angiver spidsværdien af svingningshastigheden. Enheden er mm/s
L _r	Parameter der anvendes for støjbelastningen fra eksempelvis anlægsarbejder. Angiver det ækvivalente korrigerede A-vægtede støjniveau. Niveauet er dels en energimiddelværdi af støjen over den tid støjen foregår, dels vægtet i forhold til et defineret referencetidsrum. A-vægtningen er en frekvensmæssig korrektion, som kompenserer for, at det menneskelige øre er mindre følsomt for dybe toner end for høje toner. Såfremt støjen indeholder tydeligt hørbare impulser eller toner, er støjen mere generende, og der skal gives et +5 dB tillæg til støjniveauet. Enheden for L _r er dB(A).
L _{WA}	Parameter beskriver den lydenergi en given maskine udsender. Lydeffekter for forskellige maskiner kan direkte sammenlignes idet afstanden ikke indgår. Enheden er dB(A) relativ til 1pW. Det som måles med en lydmåler er lydtrykket i den pågældende afstand, hvilket ikke kan sammenlignes med lydeffektniveauet.